Studie

über die Kalibrierung irregulärer Profile

unter Zugrundlegung der Kalibrierung von Trägern.

Von der

Königl. Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

DISSERTATION.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Julius Tafel

aus Nürnberg.

Referent:

Prof. O. Simmersbach.

Korreferent:

Prof. Dr. P. Oberhoffer.

Tag der mündlichen Prüfung: **25. Juli 1913.**

Kattowitz O.-S.

Druck von Gebrüder Böhm.

1914.

5539l.

Studie
über die Kalibrierung irregulärer Profile
unter Zugrundlegung der Kalibrierung von Trägern.

Von der
Königl. Technischen Hochschule zu Breslau
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte
DISSERTATION.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Julius Tafel
aus Nürnberg.

Referent:
Prof. O. Simmersbach.

Korreferent:
Prof. Dr. P. Oberhoffer.

Tag der mündlichen Prüfung: **25. Juli 1913.**

Kattowitz O.-S.
Druck von Gebrüder Böhm.
1914.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549813_0051

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung und Literaturangaben 5
II. Längungs- und Füllungstheorie nach W. Tafel 7
III. Die vom Verfasser angestellten Versuche 8
IV. Auswertung der Versuchsproben:
a) Der erste profilierte Stich 10
b) Die späteren profilierten Stiche 15
V. Die Resultate der Versuche und Auswertungen 16
VI. Materialuntersuchung und Schlüsse aus derselben auf den Walzvorgang 25
VII. Zusammenfassung 29
Anhang: Tafel 1—20.

I. Einleitung.

Im Gegensatz zu den außerordentlichen Fortschritten in der Erkenntnis der theoretischen Grundlagen, die auf allen anderen dem Hüttenwesen zuzurechnenden Gebieten dank einer regen Forschertätigkeit in den letzten Jahrzehnten gezeitigt wurden, hatte das Walzwerkswesen bis vor wenigen Jahren nur relativ geringe wissenschaftliche Würdigung erfahren. Es mag dies umso auffallender erscheinen, als der Walzwerksbetrieb infolge seiner Eigenart sowohl von hüttenmännischer wie von maschinentechnischer Seite förderndes Interesse hätte beanspruchen können. Bei der Durchsicht der Fachliteratur ist jedoch die Seltenheit walzwerkstechnischer Veröffentlichungen auf experimenteller oder theoretischer Basis bis zu den letzten Jahren unverkennbar. Vor allem gilt dies von Untersuchungen, die sich auf die Vorgänge beim Walzen und die darauf sich gründende Kalibrierung der Walzen beziehen.

Wohl sind aus früheren Jahren sehr beachtenswerte Arbeiten über den Walzvorgang als solchen zu verzeichnen, wie die von Tresca[1]), Kick[2]), Obermeyer[3]) und Bauschinger.[4]) Auch waren Abhandlungen über das Kalibrieren von v. Tunner[5]), Daelen, Hollenberg und Dieckmann[6]), F. Neveu und L. Henry[7]), Blass[8]) und Hollenberg[9]) erschienen. Diese Arbeiten, welche vieles theoretisch Interessante und manches praktisch Brauchbare zum Resultat hatten, vermochten jedoch die für den Walzwerker, speziell den Kalibreur, einschlägigen Fragen bei weitem nicht erschöpfend zu klären. Trotzdem befaßte sich nahezu zwei Jahrzehnte hindurch kein Fachmann mehr in der Öffentlichkeit mit den Problemen des Walzvorgangs.

Als zu Anfang des laufenden Jahrhunderts die ersten Versuche gemacht wurden, der Gasmaschine und der elektrischen Energie ein Anwendungsgebiet im Walzwerksbetrieb zu schaffen, entstand ein lebhafter Wettstreit der Meinungen über die Vorzüge der einen oder anderen Antriebsart. Es wurden mannigfache Versuche und theoretische Betrachtungen der Antriebsfrage sowie der sie beeinflussenden Faktoren angestellt. Damit endlich wurde dem bis dahin hintangesetzten Walzwerkswesen im allgemeinen das wissenschaftliche Interesse berufener Fachleute zugeführt. Ungefähr zu derselben Zeit setzten auch von neuem die Versuche ein, die Vorgänge, welche beim Walzprozeß im Material stattfinden, zu ergründen. Diese Jahre sind als der Beginn einer Periode des technischen Aufschwungs des Walzwerkswesens zu charakterisieren, der sich praktisch dadurch kennzeichnet, daß die Werke mit durchgreifenden Reformen ihrer Walzwerksbetriebe beginnen, die sich den Resultaten wissenschaftlicher Forschung anschließen.

Von diesem Zeitpunkt ab mehren sich die Veröffentlichungen auf dem Gebiet des Walzenkalibrierens. Genannt seien die Arbeiten von Geuze[10]), Brovot[11]), Kirchberg[12]), Hirst[13]), Daelen[14]), Sattmann[15]), Holzweiler[16]), Fröhlich[17]), Bartholme[18]), Hort[19]), Rademacher[20]), Puppe[21]), W. Tafel[22]), Schaefer[23]), Scheld[24]), Falk[25]), Beck[26]) und Becker[27]).

Fragen wir uns nach dem Grund der so spät einsetzenden Forscherarbeit, so müssen wir zwei Faktoren in Berücksichtigung ziehen.

Das Walzenkalibrieren wurde bis dahin allgemein als eine untergeordnete Tätigkeit betrachtet und darum auch meist Personen überlassen, von denen bei der Schwierigkeit der Materie mit Rücksicht auf ihre Vorbildung eine Behandlung und Vertiefung der einschlägigen Fragen nicht zu erwarten war. Die Kalibreure, vielfach gelernte Walzendreher, pflegten ihre Kunst mit einem Schleier des Geheimnisses zu umgeben, worin sie von der Leitung der Werke aus Gründen des Wettbewerbs eifrig unterstützt wurden. So kam es, daß die Tätigkeit des Kalibrierens lange Zeit in den Händen weniger Eingeweihter lag, d. h. solcher, die im Besitz möglichst vieler praktisch erprobter Kalibrierungen waren, und die ihre Tätigkeit auf Grund der überkommenen Vorbilder ausübten. Vor die Aufgabe gestellt, eine prinzipiell neue Profilart zu kalibrieren, mußte das Probieren und das bereits mehrfach in der Literatur erwähnte „Gefühl für das Kalibrieren", das sich der Kalibreur im Laufe jahrelanger Tätigkeit zweifellos erwirbt, zum Ziele führen. Anwendbare Formeln für die Konstruktion von

Walzenkalibern gab es nicht, solche aufzustellen hatte der Kalibreur weder die Befähigung noch die Zeit; wissenschaftlich Vorgebildete und die akademische Gelehrtenwelt wurden nicht an die Kalibrierungen herangelassen. Dadurch kam es auch, daß bis in die jüngste Zeit auf keiner unserer technischen Hochschulen dem Studierenden Gelegenheit geboten wurde, in das Wesen des Walzenkalibrierens eingeführt zu werden. Erst auf Grund der angeführten neueren Arbeiten konnten in den letzten Jahren die ersten Kollegs über das Walzenkalibrieren gelesen werden.

Ein weiterer Grund für die späte und nur langsam fortschreitende Erkenntnis des Walzvorgangs liegt in der Schwierigkeit und Kostspieligkeit von praktischen Versuchen. Denn nur unter Heranziehung des praktischen Versuchs, der unter den tatsächlichen Betriebsverhältnissen ausgeführt wird, ist eine Erreichung des Zieles denkbar. Solche Betriebsversuche erfordern jedoch selbst dann, wenn sie einfacher Natur sind wie die vorliegenden, eine reichliche Menge Zeit und Arbeit, werden leicht kostspielig und bereiten der Betriebsleitung naturgemäß zumeist wenig Freude. Wenn trotzdem in der letzten Zeit sich mehrere Werke dazu bereit erklärten, ja sogar schon selbst maßgebende Persönlichkeiten dazu aufforderten, in ihren Betrieben Versuche auszuführen, so ist das als ein erfreuliches Zeichen dafür anzusehen, daß man in Walzwerkerkreisen von der Notwendigkeit und dem Zweck wissenschaftlicher Untersuchungen auf diesem Gebiet überzeugt ist. Ein bedeutender Anteil an der Überzeugung weiterer Kreise von der Wichtigkeit unserer Erkenntnis des Walzvorgangs ist den Arbeiten von Dr.-Ing. Puppe über den Kraftbedarf an Walzenstraßen und über die Walzdrucke zuzuschreiben, in denen der Einfluß einer sachgemäßen Kalibrierung auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebs und seine Aufrechterhaltung dargelegt wird.

In dem Bestreben, für das Kalibrieren brauchbare Formeln zu schaffen und manche bis dahin ungeklärte Erscheinung des Walzvorganges aufzuklären, hat W. Tafel, Nürnberg im Jahre 1909, auf Grund praktischer Versuche, die der Verfasser mit durchführte, unter anderem eine Formel für die Längung beim Walzen und daraus abgeleitet eine solche für die Füllung irregulärer Profile aufgestellt. Die Nachprüfung dieser Formeln wurde dem Verfasser von der Eisenhüttenmännischen Abteilung der Technischen Hochschule, Breslau, vorgeschlagen. Im folgenden soll das Resultat der Arbeit von W. Tafel kurz wiedergegeben werden.

Literaturangaben.

1. Tresca: „Mémoire sur l'écoulement des corps solides". Annales du Conservatoire des Arts et Métiers 1865.
2. Kick: „Dinglers Polytechnisches Journal" 1877 Bd. 224, 1879 Bd. 24; „Wochenschrift des Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins" 1887 Nr. 23 und 24; „Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins" 1880 Heft 3; „Technische Blätter" 1878 S. 88, 1881 Heft 3 und 4.
3. A. v. Obermeyer: „Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien" 1868, S. 737.
4. Bauschinger: „Zeitschrift des Bayrischen Architekten- und Ingenieur-Vereins" 1875.
5. P. v. Tunner: „Über die Walzenkalibrierung für die Eisenfabrikation". Leipzig 1867.
6. Daelen, Hollenberg und Dieckmann: „Die Kalibrierung der Eisenwalzen". Berlin 1870.
7. F. Neveu und L. Henry: Traité pratique du laminage de fer" Paris 1881.
8. L. Blass: „Beitrag zur Theorie der Abnahmekoeffizienten bei der Walzenkalibrierung". „Stahl und Eisen" 1882,S.189. — „Bemerkungen über einige beim Walzen auftretende Erscheinungen". „Stahl und Eisen" 1882, S. 233. — „Theorie des Walzprozesses". „Stahl und Eisen" 1882, S. 283.
9. Hollenberg: „Bemerkungen zu den Vorgängen beim Walzen von Eisen". „Stahl und Eisen" 1883, S. 121.
10. L. Geuze: „Traité théorétique et pratique du laminage du fer et de l'acier". Paris 1900.
11. A. Brovot: „Das Kalibrieren der Walzen". Leipzig 1902.
12. E. Kirchberg: „Grundzüge der Walzenkalibrierung". Dortmund 1902.
13. Hirst: „Das Kalibrieren von Vorwalzen". „Stahl und Eisen" 1900, S. 241. — „Das Kalibrieren von Drahtwalzen". „Stahl und Eisen" 1900, S. 1193.
14. Daelen: „Das Kalibrieren von Drahtwalzen". „Stahl und Eisen" 1900, S. 1193.
15. Sattmann: „Walzenkalibrierung". „Stahl und Eisen" 1903, S. 976. — „Das Kalibrieren der Walzen". „Stahl und Eisen" 1905, S. 590.
16. Holzweiler: „Das Kalibrieren der Profilwalzen für I-Eisen". „Stahl und Eisen" 1905, S. 450. — „Zur Frage der Kalibrierung breitflanschiger Träger". „Stahl und Eisen" 1906, S. 1428. — „Das Kalibrieren der U-Eisen". „Stahl und Eisen" 1911, S. 58.
17. Fröhlich: „Die beim Walzen auftretenden Kräfte und Momente". „Stahl und Eisen" 1906, S. 922.
18. Bartholme: „Einiges über das Kalibrieren der Profilwalzen". „Stahl und Eisen" 1907, S. 58.
19. Hort: „Der Walzprozeß". „Stahl und Eisen" 1907, S. 1884.
20. Rademacher: „Die Kalibrierung gleichschenkliger Winkeleisen". „Stahl und Eisen" 1908, S. 1561.
21. J. Puppe: „Versuche zur Ermittelung des Kraftbedarfs an Walzwerken". Düsseldorf 1909. — „Über das Voreilen beim Walzen". „Stahl und Eisen" 1909, S. 161. — „Allgemeines über Walzlinie und Oberdruck". „Stahl und Eisen" 1909, S. 1678. — „Weitere Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfs an Walzwerken". „Stahl und Eisen" 1911, S. 274. — „Beitrag zur Kenntnis des Kraftbedarfs von Träger-, Draht-

und Blechstraßen". „Stahl und Eisen" 1912, S. 12 und S. 106. — „Versuche über Walzdrucke an einem Blockwalzwerk". „Stahl und Eisen" 1910, S. 1823 und S. 1871.

22. W. Tafel: „Neue Methoden zur Berechnung von Kalibrierungen". „Stahl und Eisen" 1909, S. 649.
23. Schaefer: „Die Anordnung der Kaliber für T-Eisen und hochstegige T-Profile". „Stahl und Eisen" 1909, S. 425 und 748. „Die Anordnung der Stauchkaliber für U-Eisen". „Stahl und Eisen" 1910, S. 1836.
24. M. Scheld: „Das Breiten beim Walzen". „Stahl und Eisen" 1910, S. 415.
25. Falk: „Die Breitung des Eisens in Glattwalzen". „Stahl und Eisen" 1910, S. 1986. — „Die Theorie der Materialwanderung beim Walzen und Schmieden". „Stahl und Eisen" 1912, S. 935.
26. Beck: „Das Staffelwalzen von gleichschenkligem Winkeleisen". „Stahl und Eisen" 1912, S. 935.
27. Becker: „Stauchkaliber in ihrer Wirkung". „Stahl und Eisen" 1912, S. 935.

II. Längungs- und Füllungstheorie nach W. Tafel.

W. Tafel geht davon aus, daß bei solchen Profilen, bei denen nicht alle Teile des Querschnittes gleiche Abnahme erfahren, den sogenannten „irregulären Profilen" — z. B. den U- und I-Eisen — die stärker gedrückten Teile mehr zu längen bestrebt sind als die weniger gedrückten. Das Teilchen a (Abb. 1) wird mehr längen wollen als die Teilchen b und b_1.

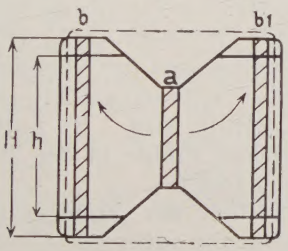


Abb. 1.

Da jedoch alle Teile dem gleichen Stab angehören, ist ihnen eine ungleiche Längung unmöglich. Der Stab zeigt nach dem Stich eine nahezu einheitliche Länge aller seiner Teile. Diese kann nur so zustande kommen, daß einerseits Material aus dem stärker gedrückten Teil des Querschnitts nach dem schwächer gedrückten Teil desselben abwanderte und auf diese Weise ein Längungsausgleich geschaffen wurde. (Siehe Pfeilrichtung der Figur.) Vielfach genügt das seitliche Abwandern von Material noch nicht, um eine gleiche Längung aller Teile hervorzurufen. Eine Folge davon ist, daß die weniger gedrückten Teile, in unserem Falle die Flanschenteile b und b_1, um auf die gleiche Länge zu kommen wie die stärker gedrückten Teile des Steges a, Material aus ihrer Höhendimension in die Länge schicken müssen. Es tritt dann der Fall ein, daß in den vom Steg mitgerissenen Flanschen das Material „schwindet", d. h. daß dort das Eisen nicht bis zur Höhe H des eingeschnittenen Kalibers, sondern nur etwa bis h „füllt".

Die Längung des Stabes beim Stich nennt W. Tafel die mittlere Längung und stellt den Satz auf, daß die mittlere Längung von Schweißeisen ungefähr übereinstimmt mit dem arithmetischen Mittel der Längungen, welche die Einzelquerschnitte erfahren würden, wenn sie von anderen Querschnittsteilen unbeeinflußt wären. Zur Berechnung der mittleren Längung gibt er die Formel

$$\frac{L_{m^2}}{L_1} = l = \frac{\Sigma \frac{H}{h}}{n} \text{ oder } L_{m^2} = L_1 \cdot \frac{\Sigma \frac{H}{h}}{n}$$

worin L_{m^2} = mittlere Länge des Stabes nach dem Stich, L_1 = Länge des Stabes vor dem Stich, l = Längung, n = Anzahl der gleichen Lamellen, in die das zu drückende Profil zerlegt wird, H = Höhe der einzelnen Lamellen vor dem Stich, h = Höhe der einzelnen Lamellen nach dem Stich, $\Sigma \frac{H}{h}$ = Summe aller Einzellängungen.

Aus dieser Längungsformel leitet W. Tafel eine solche für die Berechnung der Füllung irregulärer Profile ab.

$$H_{m^2} = H_{m^1} \cdot \frac{n}{\Sigma \frac{H}{h}}$$

worin H_{m^2} = mittlere Höhe des Profils nach dem Stich, H_{m^1} = mittlere Höhe des Profils vor dem Stich.

An einem Beispiel sei gezeigt, auf welche Weise W. Tafel die Längungs- und Füllungsformel in Anwendung bringt. Ein Stab von 60 × 60 mm werde in ein Kaliber von der Form der Abb. 2 eingeführt.

Die Höhe, bis zu welcher das Kaliber füllt, sei von vornherein schätzungsweise zu $h_a = 51$ mm angenommen. Der zu drückende Stab sei nach der Breite in 11 gleiche Lamellen zerlegt, deren Mittellinien eingezeichnet sind. Die Höhenmaße der Lamellen nach dem Stich = h sind aus der Abbildung ersichtlich. Die Höhe H sämtlicher Lamellen würde gleich der Höhe des eingeführten Stabes, also gleich 60 mm sein, wenn der Stab von a bis c unter Druck stände. Dies ist aber nicht der Fall, da er unter der Voraussetzung einer Füllhöhe = h_a nur bis b Druck erhält, von da jedoch leer läuft. (Siehe

linke Seite der Abbildung.) Das Material ist infolge der ungleichen Längung in dem Bereich der Geraden e b geschwunden, H wird in diesem

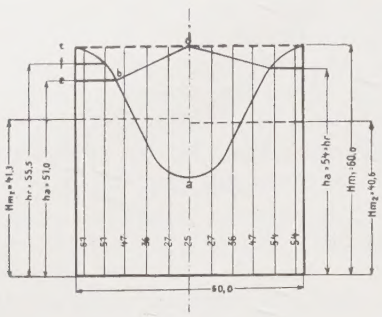


Abb. 2.

Bereich gleich h, die Längung daher gleich 1. Um die Höhe H der übrigen Lamellen zu finden, vergegenwärtigen wir uns den Walzvorgang. Wird der Stab zwischen die Walzen geführt, so erfaßt ihn zuerst in der Mitte die abgerundete Spitze a der Oberwalze. Er wird daher an dieser Stelle zuerst und deshalb unbeeinflußt von den Nachbarteilchen niedergedrückt. Die mittlere Lamelle erfährt somit den vollen Druck, welcher der Höhe des eingeführten Stabes entspricht, während alle Nachbarteilchen durch die voraus eingedrückte Spitze derart niedergezogen werden, daß das Material nach der Geraden d b eingezogen wird. Die Fläche d b e c gibt das Maß der Einziehung wieder, welche stattfindet, bevor das Material durch den direkten Druck der Walzen bearbeitet wird. Durch die Begrenzungsgerade d b sind die Höhen H der dem Druck der Walzen ausgesetzten Lamellen gegeben.

Wenden wir nunmehr die Formel

$$l = \frac{\Sigma \frac{H}{h}}{n}$$ an, so erhalten wir die Längung

$$l = 2 \cdot \frac{\frac{51}{51} + \frac{51}{51} + \frac{52{,}5}{47} + \frac{55}{36} + \frac{57{,}5}{27} + \frac{60}{25}}{11}$$

$$= \frac{15{,}96}{11} = 1{,}45.$$

Die Füllhöhe ergibt nach Anwendung der Formel $H_{m^2} = H_{m^1}$

$$\frac{n}{\Sigma \frac{H}{h}} \quad H_{m^2} = 60 \cdot \frac{11}{15{,}96} = 41{,}3 \text{ mm}.$$

Das Resultat ergibt die Höhe eines Rechtecks, dessen Breite gleich der Kaliberbreite ist. Der Inhalt des Rechtecks auf die Kaliberform verteilt, ergibt die Flanschenfüllhöhe $h_r = 55{,}5$ mm. Diese Höhe, welche unter Zugrundelegung der Ausgangshöhe h_a errechnet wurde, differiert von dieser um den Betrag e f. Die tatsächliche Füllhöhe muß zwischen beiden liegen. Durch Interpolation findet man schließlich diejenige Füllhöhe, von welcher ausgehend man unter Anwendung der Formel die gleiche Höhe errechnet. Die rechte Seite Abb. 2 zeigt die auf gleiche Weise wie oben errechnete richtige theoretische Füllhöhe $h_r = h_a = 54$ mm.

III. Die vom Verfasser angestellten Versuche.

Die von W. Tafel aufgestellten Formeln bedeuten nach seinen eigenen Ausführungen nur die prinzipielle Lösung der Frage, wie ein irreguläres Profil berechnet werden kann. Um die Stichhaltigkeit der Theorie in ihrer Anwendung auf praktische Fälle zu prüfen und die Anwendungsmöglichkeit der Formeln zu präzisieren, wurden Trägerkalibrierungen untersucht. Diese speziell wurden gewählt, einerseits deshalb, weil beim Walzen der I-Träger das Schwinden der Flanschen von außerordentlicher Bedeutung ist, und dahin gehende Berechnungen den Fachmann wohl in erster Linie interessieren werden, andererseits, weil gerade hier die Verhältnisse infolge der Verschiedenartigkeit der Bearbeitung recht kompliziert liegen.

Die relativ sehr gute Übereinstimmung der theoretisch errechneten Werte mit den praktisch gefundenen hat W. Tafel an Hand der Abschnitte kleiner spezieller Versuchsprofile und U-Profile dargelegt, deren Anfangsquerschnitte jedoch nicht über 1300 mm² hinausgingen. Naturgemäß treten die einer Methode anhaftenden Fehler und Mängel umso deutlicher und greifbarer in Erscheinung, je größer die Dimensionen der Versuchseinheiten gewählt werden, mit deren Hilfe sie auf ihre Richtigkeit geprüft wird. Es wurden daher möglichst größere Profile in den Bereich der Betrachtung gezogen.

Die Direktion der Friedenshütte O.-S. gab dem Verfasser in außerordentlich entgegenkommender Weise Gelegenheit, dahingehende Versuche an ihren Walzenstraßen vorzunehmen. Es wurden solche an der 625er Trio-Mittelstraße, an der 850er Trio-Grobstraße und an der 965er Reversierstraße gemacht.

Vor allem wurde das erste profilierte Kaliber untersucht. Auch von einigen späteren Stichen wurden Abschnitte genommen. Um den Einfluß der Blockhöhe, Blockbreite, der Temperatur und Materialzusammensetzung auf die Füllung der Kaliber beobachten zu können, wurden in das gleiche Kaliber verschiedene Riegel gegeben, bei denen obige Faktoren in möglichst weiten Grenzen geändert waren. Um ferner den Einfluß der Kaliberform zu fassen, wurden verschiedene erste

Profilkaliber auf diese Weise mit Riegeln beschickt.

Die für die Untersuchung bestimmten Blöcke wurden auf der Blockwalze auf möglichst genaue Dimensionen heruntergewalzt, wobei sie zuletzt durch das Brammenkaliber geschickt wurden, um die Einhauriefen wegzudrücken, die eine genaue Messung beeinträchtigt hätten. Es wurden 4—5 Meter lange Versuchsriegel sauber herausgeschnitten. Diese wurden nach erfolgter vollständiger Abkühlung in allen ihren Dimensionen genau gemessen.

Während sich die Höhen- und Längenmaße leicht einwandfrei bestimmen ließen, mußte als Maß für die Breite des Riegels das Mittel aus mehreren Abmessungen genommen werden. Beim Auswalzen von Blöcken, welche in einer Hitze vom Stahlwerk unter Zwischenschaltung von Ausgleichgruben der Blockwalze zugeführt werden, was bei den vorliegenden der Fall war, zeigt sich die Erscheinung, daß in der Mitte seitliche Ausbauchungen entstehen. Diese rühren daher, daß in den Wärmegruben kein vollständiger Temperaturausgleich zwischen den äußeren Partien und dem Kern des Blockes erreicht und infolgedessen das plastischere Material der Mitte bei der Druckgebung seitlich hinausgedrückt wird. Auch treten Dimensionsunterschiede infolge der verschiedenen Temperatur des Kopfes, der Mitte und des Blockendes auf. Da die Versuchsriegel ungefähr aus der Mitte herausgeschnitten und die Ausbauchung durch öfteres Kanten auf ein Minimum gebracht worden war, ist das Mittel aus den Abmessungen, deren Differenz auf die Länge von 4—5 m maximal 2 mm betrug, als hinreichend richtig anzuerkennen. Riegel, welche nicht gerade waren, wurden, um ein möglichst gleichmäßiges Fassen im profilierten Kaliber zu erzielen, sowie zur Erleichterung der Längenmessung auf der Richtpresse gerichtet.

Die Temperaturmessungen wurden mit dem elektro-optischen Pyrometer von Holborn und Kurlbaum ausgeführt. Dieses eignet sich zur Temperaturbestimmung von Walzstäben besser als das vielfach benutzte, auf dem gleichen Prinzip beruhende Pyrometer von Wanner. Bei letzterem dienen bekanntlich zum Vergleich der Lichtintensitäten zwei halbkreisförmige Flächen, während bei dem Pyrometer von Holborn und Kurlbaum der Vergleich mit Hilfe des leuchtenden Bügels einer Kohlenfadenlampe erfolgt. Der Vergleich der Helligkeiten zweier nebeneinanderliegender Flächen ist aber zweifellos schwerer als die Einstellung der Lichtintensität des Kohlenfadenbügels auf die Intensität der beobachteten Fläche, die sich sehr leicht dadurch feststellen läßt, daß der glühende Bügel auf dem strahlenden Hintergrunde, dem Walzstab, für das Auge zum Verschwinden gebracht werden muß. Ein weiterer Übelstand des Wanner'schen Pyrometers bei den Temperaturmessungen an Walzstäben, die eine verhältnismäßig kleine Beobachtungsfläche bieten, liegt darin, daß das Gesichtsfeld der Vergleichsfläche zumeist nicht vollständig von der beobachteten Fläche ausgefüllt wird und infolgedessen ein Teil des Halbkreises unbeleuchtet bleibt, was leicht die Genauigkeit der Einstellung beeinträchtigt.

Ein genereller Mangel haftet den Temperaturmessungen mittels optischer Instrumente insofern an, als sich mit ihnen nur die Temperatur der Oberfläche des Walzstabes messen läßt, die naturgemäß nicht mit der mittleren Temperatur des gesamten Querschnittes übereinstimmt.

Mit Rücksicht auf die Aufrechterhaltung des Ofenbetriebes mußten die Riegel mit normaler Walztemperatur ausgewalzt werden. Temperaturdifferenzen konnten nur dadurch erzielt werden, daß einzelne Riegel mehr oder weniger lang auf dem Rollgang vor der Walze liegen gelassen wurden. Die Fehler der Temperaturmessungen sind in solchen Fällen noch größer. Diese sind jedoch für die vorliegenden Zwecke von geringer Bedeutung, da es sich hier weniger um die Bestimmung absolut richtiger Temperaturhöhen handelt, nachdem die relativen Temperaturverhältnisse, die mit möglichst großen Differenzen abgestuft wurden, zur Klärung der Temperatureinflüsse genügen.

Nach erfolgtem Stich wurde die Länge der Riegel kalt gemessen. Da der Steg infolge seiner größeren Längung gegenüber den Flanschen am Anfang und Ende des Riegels eine Zunge bildet, konnte als Länge L_2 nur das Mittel betrachtet werden, das aus je drei Längenmaßen auf jeder der vier Seiten des Stabes resultierte.

Die Längenmessungen an den erkalteten Riegeln konnten aus Betriebsrücksichten nur bei den ersten 23 Versuchen vorgenommen werden (siehe Zahlentafel 4).

Um für die Auswertung brauchbare Profilumrisse zu erhalten, wurden möglichst aus der Mitte der Riegel auf der Säge Abschnitte herausgeschnitten, die genau rechtwinklig abgehobelt wurden.

Recht umständlich gestaltete sich die Erzielung der Abschnitte späterer Stiche, da sich nur vor den Straßen je eine Säge befindet. Sollte der Abschnitt eines Stiches genommen werden, der hinter der Straße auslief, so mußte der Stab zwischen den Kupplungen zurückgegeben, an die Säge gefahren, geschnitten und leer durch das vorhergehende Kaliber zurück-

geführt werden. Da dies mit einer starken Abkühlung verbunden war, die umso größer wurde, um einen je späteren Stich es sich handelte, und da ferner darauf geachtet werden mußte, daß die zum Vergleich bestimmten aufeinanderfolgenden Abschnitte vom gleichen Riegel stammten, somit vor und nach dem betreffenden Stich ein Abschnitt zu nehmen war, mußte die Untersuchung der späteren Stiche auf eine geringe Zahl beschränkt werden.

Von einigen weiteren Spezialversuchen soll weiter unten die Rede sein.

IV. Auswertung der Versuchsproben.

a) Der erste profilierte Stich.

Um die Richtigkeit der Längungs- und Füllungstheorie sowie die Anwendbarkeit der daraus resultierenden Formeln studieren zu können, wurde, ausgehend von den durch die Versuche gewonnenen Profilabschnitten eine Reihe von Beispielen theoretisch ausgewertet und diese Resultate mit den praktisch sich ergebenden Werten in Vergleich gestellt.

Zu diesem Zwecke wurden die Abschnitte, wie aus den Tafeln 1 bis 16 hervorgeht, unter Beibehaltung der praktisch auftretenden Unebenheiten der Umrißlinien genau umfahren und in die Knüppelumrisse hineingezeichnet, für welch letztere die gefundenen Dimensionsmittel zu Grunde gelegt wurden.

Das Ineinanderlegen der Querschnitte erfolgte derart, daß diese zur Vertikalachse möglichst symmetrisch zu liegen kamen, was jedoch bei der mehrfach auftretenden ungleichen Ausbildung der beiden Profilhälften nicht immer einwandfrei zu erreichen war. Die Lage zur Horizontalachse konnte willkürlich gewählt werden, da diese auf das Resultat der Auswertung ohne Einfluß ist, nachdem nur Höhenmaße in Rechnung gesetzt werden, deren Größe naturgemäß von der gegenseitigen Höhenlage der Querschnitte unberührt bleibt. Die Zerlegung der Profilabschnitte in Lamellen geschah in der Weise, daß der Querschnitt des Knüppels in möglichst viele gleiche Teile geteilt wurde, deren Mittellinien eingezeichnet wurden. Um das Maß des größten Druckes, der bei dem ersten profilierten Stich in der Vertikalmittellinie aufzutreten pflegt, in der Berechnung erscheinen zu lassen, wurde stets von dieser als Mittellinie einer Lamelle ausgehend der Knüppelquerschnitt nach Art der Abb. 3 eingeteilt.

Die Zahl der Lamellen wurde möglichst groß angenommen, da naturgemäß der Grad der Auswertungsgenauigkeit mit dieser zunimmt. Um die in der Messung der mittleren Höhen der Lamellen begründeten Auswertungsfehler auf ein ungefähr gleiches Maß zu beschränken, wurde die Breite der einzelnen Lamellen in allen Fällen zu ca. 2 mm angenommen. Es sei hier schon betont, daß die zeitraubende Einteilung in derartig viele Lamellen sich natürlich bei einer praktisch in Betracht kommenden Berechnung erübrigen würde.

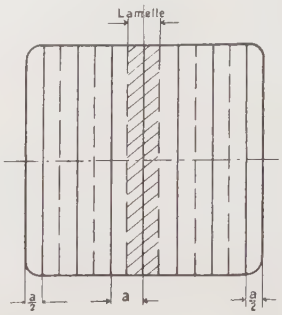


Abb. 3.

Die Höhenmaße h der Teilchen nach erfolgtem Stich sind auf den Abbildungen der Tafeln aus den innerhalb der Profilumrisse liegenden Zahlenreihen ersichtlich.

Die Bestimmung der Höhenmaße H der Teilchen vor dem Stich ergab im Laufe der Untersuchungen verschiedene Wege der Auswertung, denen naturgemäß unterschiedliche Resultate entsprechen. Mit Rücksicht auf das Verständnis für die folgerichtige Entwicklung der Untersuchungen seien diese und die Überlegungen, die zu denselben führten, in folgendem wiedergegeben. Wie schon W. Tafel in seiner Veröffentlichung darlegt, erfährt nur ein Teil des Querschnitts infolge direkten Druckes eine Längung, da die Flanschen schwinden und deshalb zum Teil mit den für ihre Bearbeitung bestimmten

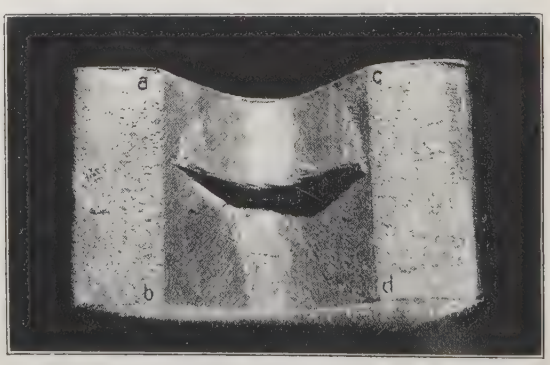


Abb. 4.

Walzenrändern garnicht in Berührung kommen. Die Grenze, bis zu welcher eine direkte Bearbeitung des Materials in den Flanschen erfolgt, läßt sich, wie aus den Abbildungen 4 und 5 ersichtlich, ganz deutlich an den auf-

tretenden scharfen Kanten a b und c d feststellen.

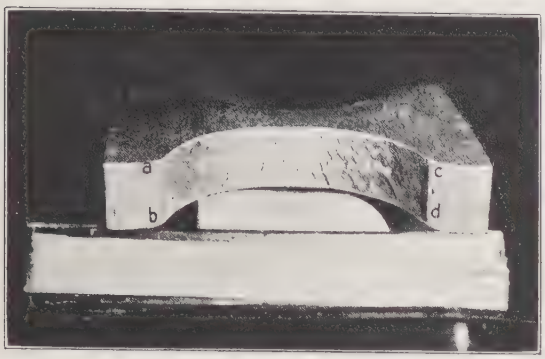


Abb. 5.

Die Kanten entstehen dadurch, daß das Material in den direkt gedrückten Teilen — wir wollen diesen Bereich die Druckzone im Gegensatz zur nicht gedrückten Zone nennen — infolge der Bearbeitung eine glatte Oberfläche erhält, während das oberflächliche Aussehen der nicht bearbeiteten Flanschteile ein rauhes ist. Abgesehen von dieser am Probeabschnitt selbst ersichtlichen Oberflächenkante läßt sich die Grenze der Druckzone durch den leicht festzustellenden Punkt der beginnenden Abweichung des Profilumrisses von der Form des Kalibers bestimmen.

Der ersten Auswertung (L theor.$_1$) wurde die so gefundene Grenze der Druckzone zu Grunde gelegt, indem von dem Anfangsdruckpunkt im Querschnitt ausgehend die Einziehungslinie a b (siehe Abb. 6) nach Maßgabe der weiter oben angestellten Überlegung als Begrenzungslinie für die Höhen H in Form einer Geraden eingezeichnet wurde. Die hierzu gehörigen Höhen H sind auf den Abbildungen der Tafeln oberhalb der Profilzeichnungen in den beiden unteren Zahlenreihen eingetragen.

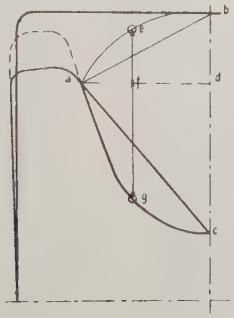


Abb. 6.

Für die zweite Auswertung (L theor.$_2$ und H_2 theor.$_2$) wurde vom gleichen Anfangsdruckpunkt ausgegangen. Die Berechnung erfuhr jedoch insofern eine Änderung, als die Einziehungslinie a b der Kurvenform der Einschnittslinie a c angepaßt wurde; denn die Annahme, daß die Einziehungslinie nach einer Geraden verlaufe, erscheint nur dann gerechtfertigt, wenn auch die Form des Kalibereinschnittes von einer solchen begrenzt ist. Zur Ermittlung der einzelnen Punkte der Kurve wurde die Hilfslinie a d gezogen. Es muß dann beispielsweise für den Punkt e (Abb. 6) sein:

$$\frac{b\,d}{d\,c} = \frac{e\,f}{f\,g}, \text{ daher } e\,f = \frac{f\,g \cdot b\,d}{d\,c}$$

In der gleichen Weise wurden die übrigen Punkte der Kurven bestimmt. Tatsächlich wurde durch diese Abänderung eine bessere Übereinstimmung der errechneten Werte mit den effektiven Werten erzielt. Die entsprechenden Höhenwerte H sind auf den Abbildungen der Tafeln aus den beiden obersten Zahlenreihen zu ersehen.

Eine dritte Auswertung (L theor.$_3$ und H_2 theor.$_3$) wurde durch eine weitere Modifikation der Lage der Begrenzungslinie für die Höhen H bedingt. Wenn die Resultate der Auswertung 2 doch noch relativ große Abweichungen von den praktisch gefundenen Längungs- und Füllungswerten ergeben hatten, so hat dies seinen Grund darin, daß bei der theoretischen Berechnung die auf Abb. 7 schraffierte, oberhalb der durch den Anfangsdruckpunkt a gehenden Wagerechten a b liegende Fläche — wir wollen sie den Flanschenberg nennen — unberücksichtigt geblieben war.

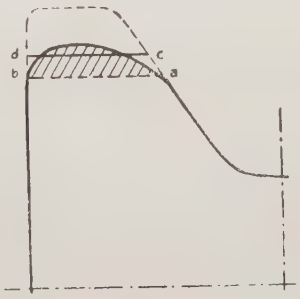


Abb. 7.

Der Flanschenberg entsteht offenbar dadurch, daß die Teile des Flansches, welche an den arbeitenden Walzrändern liegen, stärker nach unten gezogen werden im Gegensatz zu den mittleren Teilen, die keine direkte Bearbeitung erfahren, deshalb dem Einziehen mehr Widerstand entgegensetzen und stehen bleiben. Die durch das Auftreten der Flanschenberge hervorgerufene Unstimmigkeit wurde behoben, indem diese ausplanimetriert wurde und nach Maßgabe der Abb. 7 oberhalb der Linie a b eine durch die Gerade c d abgegrenzte Fläche a b d c aufgesetzt wurde, die der Fläche des Flanschenberges entspricht. Der Punkt c diente sodann als Ausgangspunkt für die Ein-

ziehungslinie, die gleichfalls nach der unter Auswertung 2 angeführten Methode konstruiert wurde. Somit war erreicht, daß die für die theoretische Errechnung zu Grunde gelegte Ausgangsfüllhöhe übereinstimmte mit der effektiven Füllhöhe. Tatsächlich war, wie weiter unten gezeigt werden soll, dadurch ein weiterer Schritt zur Verbesserung der Resultate getan. Die Werte H für die Auswertung 3 sind aus Platzrücksichten auf den Tafeln in Wegfall gekommen.

Zur Bestimmung der mittleren Längung wurden nach W. Tafel die Quotienten $\frac{H}{h}$ aufgestellt. Auf den Tafeln sind unterhalb der Profilumrisse die zur Auswertung 1 und 2 gehörigen Quotienten in den beiden oberen und unteren Zahlenreihen eingetragen. Die Aufführung der einzelnen Zahlenwerte erfolgte zum Beweis dafür, in welch relativ hohem Maße das Gesamtresultat durch geringe Änderungen der Einzelhöhen beeinflußt wird. Damit ist auch die Notwendigkeit einer genauen Fixierung der Einziehungslinie erwiesen.

Die Berechnung der Werte $\frac{\Sigma \frac{H}{h}}{n}$ ist aus den Tafeln ersichtlich.

Im weiteren Verlauf der Berechnung wurde eine Abweichung von der Art, wie W. Tafel seine Theorie anwendet, zur Notwendigkeit. W. Tafel hat den experimentellen Versuchen, aus denen er die Theorie abgeleitet hat, Fälle ohne Breitung zu Grunde gelegt. Bei den praktischen Fällen aber, die er nachher an Hand der gewonnenen Sätze durchrechnet, berücksichtigt er die Breitung, indem er in die Formel für die Höhe, bis zu welcher ein Profil füllt, den Quotienten $\frac{B_1}{B_2}$ einsetzt. (B_1 = Breite vor dem Stich, B_2 = Breite nach dem Stich.) Diese Reduktion im Verhältnis der zunehmenden Breite gründet sich auf die Überlegung, daß das Material, welches in die Breite geht, in der Höhe fehlen müsse, daß also Profile, bei denen viel Material nach der Breite ausweichen kann, entsprechend weniger füllen werden. Es ist hierbei aber nicht berücksichtigt, daß das breitende Material noch einen anderen Einfluß ausübt. W. Tafel weist schon in seiner Veröffentlichung darauf hin, daß bei einem Stab, der breitet, die Kanten in der Längung gegenüber der Mitte um soviel zurückbleiben, als Material in die Breite geht. Dieses Zurückbleiben einzelner Querschnittsteile muß nach W. Tafel weiter auch eine Zurückhaltung der Gesamtlängung bewirken, die bei dem Einfluß der Breitung berücksichtigt werden muß. Je mehr Material also in die Breite geht, desto weniger geht in die Länge. Es erscheint demnach unerläßlich, die Längung im Verhältnis der zunehmenden Breite zu reduzieren. Die abgeänderte Längungsformel lautet sodann:

$$L_2 = L_1 \cdot \frac{\Sigma \frac{H}{h}}{n} \cdot \frac{B_1}{B_2}$$

Leiten wir nun nach dem Beispiele W. Tafels aus dieser Längungsformel die Formel für die Füllung des Kalibers ab, so erhalten wir:

$L_2 = L_1 \cdot \frac{B_1}{B_2} \cdot \frac{H_1}{H_2}$, da stets $L_2 \cdot Q_2 = L_1 \cdot Q_1$.

Es ist aber auch:

$$L_2 = L_1 \cdot \frac{\Sigma \frac{H}{h}}{n} \cdot \frac{B_1}{B_2}.$$

Somit wird

$$L_1 \cdot \frac{D_1}{B_2} \cdot \frac{H_1}{H_2} = L_1 \cdot \frac{\Sigma \frac{H}{h}}{n} \cdot \frac{B_1}{B_2}$$

oder

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\Sigma \frac{H}{h}}{n}$$

$$H_2 = H_1 \cdot \frac{n}{\Sigma \frac{H}{h}}$$, das heißt, es kommt sodann der Quotient $\frac{B_1}{B_2}$ in der Füllungsformel zum Wegfall.

Trotz des Herausfallens des Breitungsquotienten wird jedoch bei der theoretischen Berechnung der Füllhöhe die Ausbreitungsmöglichkeit in Rechnung gezogen. Es ergibt sich dies nach der Art der Errechnung von selbst. Denken wir uns folgende 3 Fälle:

1. Das Kaliber und der Block haben beide die Breite a.
2. Das Kaliber habe die Breite a, der Block die Breite a—x.
3. Das Kaliber habe die Breite a + y, der Block die Breite a.

Dabei ist in allen Fällen die gleiche Blockhöhe und abgesehen von der Breite eine gleichbleibende Dimensionierung des Kalibers vorausgesetzt.

Fall 1 ergebe nach der theoretischen Errechnung eine Flanschenfüllhöhe Ha.

Fall 2 ergibt dann eine Füllhöhe, die kleiner als Ha ist, weil nun die nicht gedrückte Zone, d. h. die Zone der Teilchen, welche die Längung 1 erfahren, kleiner wird. In der

Formel $H_2m = H_1 \frac{n}{\Sigma \frac{H}{h}}$ wird H_2m kleiner.

Fall 3 ergibt ebenfalls eine Füllhöhe, die kleiner als Ha ist, da das Kaliber infolge seiner größeren Breite einen entsprechend größeren Querschnitt aufweist, der mit Material angefüllt werden muß.

Tatsächlich zeitigten auch die nach obigen Erwägungen modifizierten Längungs- und Füllungsformeln bedeutend bessere Resultate als nach ihrer ursprünglichen Fassung. Wenn trotzdem W. Tafel in seiner Veröffentlichung ebenfalls gute Resultate erzielt hatte, so rührt dies daher, daß die Breitung in den von ihm gewählten Beispielen nur ein geringes Maß erreichte. Die zahlenmäßige Gegenüberstellung der Resultate sei dem nächsten Kapitel vorbehalten.

Die Berechnung der Längung zu den einzelnen Auswertungen ist auf den Tafeln durchgeführt.

Unterhalb der Profilumrisse sind die Druckkurven wiedergegeben, wobei die durchgehend gezogene Kurve der Auswertung 1, die strichpunktierte der Auswertung 2 entspricht. In das gleiche Koordinatensystem sind die mittleren Längungen in Form von Geraden eingezeichnet, wobei die gestrichelte Gerade die mittlere Längung darstellt, welche sich ohne die durch die Breitung bedingte Korrektur ergeben würde.

In die Profilumrisse selbst sind zur augenfälligen Darstellung der Füllhöhenunterschiede die einzelnen Füllungen eingezeichnet. Hierbei bedeuten A_2 und A_3 die Ausgangshöhen der Auswertungen 2 und 3, H_2 und H_3 die davon ausgehend errechneten theoretischen Füllhöhen.

A_2 ist durch den oben erwähnten Anfangsdruckpunkt bestimmt.

H_2 wurde folgendermaßen gefunden: Erst wurde H_2 theoretisch nach der Formel

$$H_2 = H_1 \cdot \frac{n}{\Sigma \frac{H}{h}}$$

errechnet. Die so erhaltene mittlere Höhe wurde mit der mittleren Breite B_2 multipliziert. Das Produkt ergab die theoretische Querschnittsfläche nach dem Stich gleich Q_2 theor. (siehe Zahlentafel 1). Der tatsächliche Querschnitt Q_2 plan. wurde mittels des Planimeters festgestellt. Die Differenz Q_2 theor.$_2$ — Q_2 plan. wurde dann auf die einzelnen Flanschen im Verhältnis ihrer Querschnitte verteilt. Zu diesem Zweck wurden die Flanschen nach Art der Abbildungen auf den Tafeln abgeteilt und ausplanimetriert. Dann ist

$$\frac{\text{Flansch}}{\text{Summe der Flanschen}} = \frac{q_2 \text{ th}_2 - q_2 \text{ plan.}}{Q_2 \text{ th}_2 - Q_2 \text{ plan.}}$$

Block Nr.	Q_2 th$_2$	Q_2 plan.	Q_2 th$_2$ - Q_2 plan.	Flanschen mm²				Summe der Flanschen	q_2 th$_2$ - q_2 plan. mm²			
				oben		unten			oben		unten	
	mm²	mm²	mm²	links	rechts	links	rechts		links	rechts	links	rechts
1	18 212	18 020	+ 192	2 240	2 040	1 580	1 690	7 550	+ 57	+ 52	+ 40	+ 43
2	14 803	14 730	+ 73	1 440	1 570	1 420	1 380	5 810	+ 18	+ 20	+ 18	+ 17
3	14 541	14 590	— 49	1 440	1 530	1 380	1 330	5 680	— 12	— 13	— 12	— 12
4	14 384	14 480	— 96	1 360	1 440	1 410	1 410	5 620	— 23	— 25	— 24	— 24
5	14 945	14 850	+ 95	1 340	1 280	1 200	1 240	5 060	+ 25	+ 24	+ 22	+ 24
6	15 013	14 900	+ 113	1 310	1 320	1 240	1 250	5 120	+ 29	+ 29	+ 27	+ 28
7	13 543	13 400	+ 143	1 180	1 060	850	850	3 940	+ 42	+ 39	+ 31	+ 31
8	13 300	13 300	+ 232	1 090	1 010	860	940	3 900	+ 64	+ 60	+ 52	+ 56
9	31 360	31 360	+ 830	2 420	2 180	2 270	2 250	9 120	+ 220	+ 198	+ 207	+ 205
10	31 600	31 600	+ 773	2 660	2 710	2 090	2 080	9 540	+ 216	+ 220	+ 169	+ 168
11	31 570	31 570	+ 253	2 710	2 710	2 120	2 230	9 770	+ 70	+ 70	+ 55	+ 58
12	31 550	31 550	+ 396	2 630	2 720	2 040	2 190	9 580	+ 109	+ 112	+ 85	+ 90
13	32 880	32 880	+ 672	3 200	2 970	2 430	2 570	11 170	+ 192	+ 179	+ 146	+ 155
14	33 480	33 480	+ 681	3 010	3 050	2 300	2 120	10 480	+ 196	+ 198	+ 149	+ 138
15	32 840	32 840	+ 1303	2 710	3 250	2 630	2 150	10 740	+ 328	+ 394	+ 319	+ 262
16	32 850	32 850	+ 939	3 000	3 160	2 500	2 320	10 980	+ 257	+ 270	+ 214	+ 198
17	11 745	11 745	+ 418	1 030	1 000	780	810	3 620	+ 119	+ 115	+ 90	+ 94
18	11 770	11 770	+ 345	1 030	980	800	780	3 590	+ 99	+ 94	+ 77	+ 75
19	12 220	12 220	+ 538	1 160	1 190	900	900	4 150	+ 150	+ 154	+ 117	+ 117
20	12 420	12 420	+ 550	1 150	1 180	850	850	4 030	+ 158	+ 160	+ 116	+ 116
21	12 130	12 130	+ 600	1 190	1 190	880	870	4 130	+ 173	+ 173	+ 128	+ 126
22	11 840	11 840	+ 285	1 060	1 000	820	820	3 700	+ 82	+ 77	+ 63	+ 63
23	11 730	11 730	+ 337	1 020	970	8 30	830	3 650	+ 93	+ 90	+ 77	+ 77
24	57 775	55 650	2 125	3 460	3 580	2 990	3 000	13 030	+ 564	+ 584	+ 487	+ 490
25	58 413	57 290	1 123	3 030	3 150	2 720	2 970	11 870	+ 287	+ 298	+ 257	+ 281
26	52 673	53 000	— 327	5 000	5 060	4 370	4 450	18 880	— 86	— 88	— 76	— 77
27	47 045	48 710	— 1665	5 640	5 540	4 970	4 970	21 120	— 444	— 437	— 392	— 392

Zahlentafel 1.

worin $q_2\ th_2$ — q_2 plan. die jeweilige auf A_3 nach Maßgabe des Vorzeichens aufzusetzende Fläche der einzelnen Flanschen darstellt, welche durch die Gerade H_2 ihre Abgrenzung findet.

A_3 ist die Begrenzungslinie für den Wert Q_2 plan. resp. q_2 plan. (wobei sich Q stets auf den Gesamtquerschnitt, q auf den einzelnen Flansch bezieht) und entspricht der Linie c d auf Abbildung 7. Sie wurde gefunden, indem der planimetrisch festgestellte Inhalt der Flanschenberge auf die die Basis der Berge darstellende Abgrenzungslinie A_2 wiederum unter Beachtung des Vorzeichens aufgesetzt wurde. Dazu wurde, wie auf den Tafeln zu sehen ist, eine teilweise Ergänzung der Begrenzungslinien der Flanschen nach der Form des Kalibers notwendig.

Die Begrenzungslinie H_3 für Q_2 theor.$_3$ wurde gefunden, indem die Differenz der Auswertungen 2 und 3 im Verhältnis der die Differenz begründenden Flanschenberge auf die einzelnen Flanschen verteilt wurde.

Es ist dann

$$\frac{\text{Flanschberg}}{\text{Summe der Flanschberge}} = \frac{q_2\ th_2 - q_2\ th_3}{Q_2\ th_2 - Q_2\ th_3}$$

(siehe Zahlentafel 2). Um die Größe der Abweichung der nach Auswertung 3 erhaltenen Füllung von der tatsächlichen Füllhöhe in den Flanschen ($q_2\ th_3$ — q_2 plan.) zahlenmäßig zu erhalten, wurde der oben erhaltene Wert $q_2\ th_2$ — $q_2\ th_3$ von dem früher erhaltenen $q_2\ th_2$ — q_2 plan. abgezogen, also:

$$q_2\ th_3 - q_2 \text{ plan.} = (q_2\ th_2 - q_2 \text{ plan.}) - (q_2\ th_2 - q_2\ th_3).$$

Der Wert $q_2\ th_3$ — q_2 plan. wurde sodann auf A_3 aufgesetzt resp. abgezogen, womit H_3 erhalten wurde.

Die nach Auswertung 3 errechnete theoretische Füllung ergibt, wie die Abbildungen zeigen, eine gute Übereinstimmung mit den tatsächlichen Füllhöhen. Die in den meisten Fällen noch vorhandene Differenz der beiden ist durch die zwischen A_3 (q_2 plan.) und H_3 (q_2 theor.$_3$) liegenden Trapezflächen dargestellt. Solange jedoch noch eine Differenz zwischen Ausgangshöhe und errechneter Füllhöhe existiert, ist der Theorie W. Tafels nicht Genüge getan. Es mußte deshalb die Füllung gefunden werden, die zur Ausgangshöhe für die Auswertung gewählt, die gleiche theoretische Füllhöhe ergibt. Um ein langwieriges Probieren zu umgehen, wurde folgender Weg eingeschlagen.

Eine Verschiebung der Ausgangshöhe von A_2 nach A_3 ergab eine Verschiebung der errechneten Füllhöhe von H_2 nach H_3. Bei den geringen Differenzen, um die es sich hier handelt, ist die Annahme einer im direkten Ver-

Block Nr.	$Q_2\ th_3$ mm²	$Q_2\ th_2$ - $Q_2\ th_3$ mm²	Flanschenberge in mm² oben links	oben rechts	unten links	unten rechts	Summe der Flansch-berge	$Q_2\ th_3$ - Q_2 plan. mm²	$q_2\ th_3$ - q_2 plan mm² oben links	oben rechts	unten links	unten rechts
1	17 632	580	190	160	130	170	650	— 388	— 112	— 91	— 76	— 109
2	14 502	301	80	90	90	140	400	— 228	— 42	— 48	— 50	— 88
3	14 305	236	90	110	170	170	540	— 285	— 52	— 61	— 86	— 86
4	14 200	184	80	110	140	130	460	— 280	— 55	— 69	— 80	— 76
5	14 850	95	90	80	40	40	250	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
6	14 900	113	80	80	20	50	230	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
7	13 452	91	80	90	40	30	240	+ 52	+ 12	+ 5	+ 16	+ 19
8	13 440	92	90	80	20	80	270	+ 140	+ 34	+ 33	+ 44	+ 29
9	31 838	352	350	230	200	230	1 010	+ 478	+ 98	+ 118	+ 137	+ 125
10	32 001	372	260	290	230	220	1 000	+ 401	+ 119	+ 112	+ 84	+ 86
11	31 505	318	250	240	180	220	890	— 65	— 19	— 16	— 9	— 21
12	31 593	353	200	190	240	240	870	+ 43	+ 28	+ 35	— 13	— 7
13	33 129	423	140	170	260	220	790	+ 249	+ 117	+ 88	+ 7	+ 37
14	33 772	389	190	260	210	180	840	+ 292	+ 108	+ 78	+ 52	+ 54
15	34 019	124	70	80	50	30	230	+ 1179	+ 290	+ 351	+ 292	+ 246
16	33 524	265	210	130	120	170	630	+ 674	+ 168	+ 216	+ 163	+ 127
17	12 038	125	60	40	20	20	140	+ 293	+ 66	+ 79	+ 72	+ 76
18	12 077	38	80	30	30	— 10	130	+ 307	+ 76	+ 85	+ 68	+ 78
19	12 682	76	50	95	45	20	210	+ 462	+ 132	+ 120	+ 100	+ 110
20	12 883	87	50	70	30	30	180	+ 463	+ 134	+ 126	+ 101	+ 102
21	12 653	77	80	60	10	20	170	+ 523	+ 137	+ 146	+ 123	+ 117
22	12 086	39	80	80	20	20	200	+ 246	+ 66	+ 62	+ 59	+ 59
23	12 019	48	100	70	30	20	220	+ 289	+ 71	+ 75	+ 70	+ 73
24	57 562	213	— 40	190	220	340	710	+ 1912	+ 576	+ 527	+ 421	+ 388
25	58 162	251	350	80	300	380	1 110	+ 872	+ 208	+ 280	+ 189	+ 195
26	52 055	618	500	430	570	560	2 060	— 945	— 236	— 217	— 247	— 245
27	46 271	774	590	650	670	530	2 440	— 2439	— 631	— 643	— 605	— 560

Zahlentafel 2.

hältnis stehenden Änderung von A und H gerechtfertigt. Es wurden daher die von A_3 und H_3 begrenzten Trapezflächen im Verhältnis der Flächen $\frac{A_2 - A_3}{H_2 - H_3}$ geteilt. (Unter Fläche A sei die durch Linie A begrenzte Flanschenfüllung verstanden, unter H die durch die Linie H begrenzte Flanschenfläche).

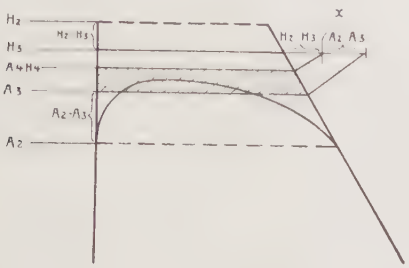


Abb. 8.

Abbildung 8 zeigt die auch auf den Abbildungen der Tafeln durchgeführte geometrische Teilung. Es wurde in der Verlängerung der Line H_3 eine Teilungsgerade gezogen und diese im Verhältnis der Flächen oder annäherungsweise der Höhen der Flächen $A_2 - A_3$ und $H_2 - H_3$ geteilt. Sodann wurde vom Endpunkt dieser Teilungsgeraden nach dem Anfangsdruckpunkt eine Gerade gezogen und durch den Teilungspunkt x zu dieser eine Parallele gelegt. Der Schnittpunkt dieser mit der Flanschenbegrenzung ergibt die Höhenlage der Füllungshöhe A_4 H_4. Zahlreiche Kontrollen bewiesen die Zulässigkeit dieser Methode, die bei allen Auswertungen zu empfehlen ist, wenn Ausgangshöhe und errechnete Höhe bei der zweiten Auswertung noch nicht übereinstimmen sollten.

Die zwischen A_4 H_4 und A_3 schraffierten Flächen stellen die Differenzen zwischen den teoretisch errechneten und den tatsächlichen Füllungen dar.

In den Zahlentafeln 1—3 sind die zur Errechnung der einzelnen Füllhöhen benötigten Zwischenwerte, die Füllungen selbst und ihre Differenzen zusammengestellt.

Block Nr.	Q_2 th_4 mm²	Q_2 th_4 — Q_2 plan. mm²	q_2 th_4 — q_2 plan. mm² oben links	oben rechts	unten links	unten rechts
1	17 818	— 202	— 67	— 53	— 34	— 48
2	14 603	— 127	— 27	— 25	— 30	— 45
3	14 410	— 180	— 26	— 34	— 60	— 60
4	14 284	— 196	— 36	— 50	— 50	— 60
5	14 850	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
6	14 900	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
7	13 416	+ 16	± 0	± 0	+ 8	+ 8
8	13 355	+ 55	+ 15	+ 10	+ 20	+ 10
9	31 692	+ 332	+ 76	+ 76	+ 90	+ 90
10	31 885	+ 285	+ 85	+ 75	+ 55	+ 70
11	31 570	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
12	31 580	+ 30	+ 20	+ 10	± 0	± 0
13	33 019	+ 139	+ 75	+ 44	± 0	+ 20
14	33 651	+ 171	+ 85	+ 44	+ 21	+ 21
15	33 587	+ 747	+ 145	+ 237	+ 187	+ 178
16	33 275	+ 425	+ 84	+ 144	+ 118	+ 79
17	11 870	+ 125	+ 30	+ 40	+ 27	+ 28
18	11 991	+ 221	+ 55	+ 55	+ 55	+ 56
19	12 509	+ 289	+ 79	+ 80	+ 73	+ 57
20	12 664	+ 244	+ 72	+ 63	+ 52	+ 57
21	12 473	+ 343	+ 90	+ 86	+ 72	+ 95
22	12 021	+ 181	+ 49	+ 40	+ 42	+ 50
23	11 963	+ 233	+ 59	+ 70	+ 54	+ 50
24	56 970	+ 1320	+ 440	+ 400	+ 220	+ 260
25	57 953	+ 663	+ 88	+ 238	+ 169	+ 168
26	52 355	— 645	— 166	— 158	— 163	— 158
27	46 900	— 1810	— 480	— 490	— 420	— 420

Zahlentafel 3.

b) Die späteren profilierten Stiche.

Wird ein vorprofilierter Träger in das nächstfolgende Kaliber eingeführt, so werden sich die Flanschen der breiteren Form des Kalibers anpassend hinausbiegen, ehe sie eine eigentliche Bearbeitung erfahren. Diesem Umstand wurde bei der Auswertung Rechnung getragen, indem das Vorprofil zur Breite des nachfolgenden Kalibers ergänzt wurde. Siehe Tafeln 17—20 Nr. 28—31.

Die Einteilung in Lamellen erfolgt wie bei den ersten Stichen, ebenso die Bestimmung der Geraden A_2 durch den Anfangsdruckpunkt und der Geraden A_3 als Begrenzungslinie des Flanschenbergs.

Nicht so einfach wie bei den ersten profilierten Stichen gestaltete sich hier die Bestimmung des Einziehungseinflusses; denn es treten 2 Längungsmaxima auf, die in der Zone der Flanschen liegen. Das Maß der Einziehung wurde daher rechnerisch festzustellen versucht. Zu diesem Zweck wurden erstlich die Längungen der einzelnen Teilchen bestimmt unter der Annahme, daß innerhalb der Druckzone das volle Profil stehen bleibt. (L th_1 und H_2 th_1.) Auf diese Weise wurde die Lage und Höhe der beiden Druckmaxima gewonnen. Siehe die L th_1 entsprechende Druckkurve, die auf den Abbildungen der Tafeln scharf ausgezogen ist. In dem Maximaldruckpunkt erfolgt naturgemäß keine Einziehung. Die Einziehung im Anfangsdruckpunkt läßt sich folgendermaßen bestimmen: Betrachten wir beispielsweise den Fall 28 auf Tafel 17 rechte Seite. Würde das Material über dem Anfangsdruckpunkt ohne Einziehung stehen geblieben sein, so hätte die entsprechende Lamelle eine Längung erfahren gleich $\frac{220}{197} = 1{,}12$. Dieser Punkt ist im Druckdiagramm kenntlich gemacht. Tat-

1	Block Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Strecke Durchm. .	850	625	625	625	625	625	625	625	850	850	850	850
3	Endprodukt . . .	N.P.18	N.P.16	N.P.16	N.P.16	N.P.14	N.P.14	N.P.14	N.P.14	N.P.22	N.P.22	N.P.22	N.P.22
4	C . . . %	0,058	0,059	0,056	0,058	0,058	0,058	0,079	0,079	0,056	0,056	0,069	0,069
	Mn . . %	0,38	0,51	0,49	0,49	0,59	0,59	0,70	0,70	0,47	0,47	0,59	0,59
	P . . . %	0,055	0,044	0,059	0,043	0,064	0,064	0,052	0,052	0,066	0,066	0,059	0,059
	S . . . %	0,014	1,031	0,030	0,040	0,037	0,037	0,043	0,043	0,048	0,048	0,055	0,055
	Si . . . %	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
5	Temperatur in °C.	1095	1147	1100	1150	1010	1130	1020	1190	—	—	—	—
6	H_1 . . mm	175	160	152	148	158	158	133	133	218	218	218	217
7	B_1 . . mm	151	127,5	129	129	120	119	120	120	168	168	167	166
8	B_2 m . mm	145	131	131	131	114	114	114	114	176	177	176,5	176,5
9	B_2—B_1 mm	− 6	+3,5	+ 2	+ 2	− 6	− 5	− 6	− 6	+ 8	+ 9	+9,5	+10,5
10	Geringste Stegstärke . mm	72	67,5	67,5	67	85,5	86	82,5	82	126	125	123	124,5
11	Q_1 . mm^2	26 404	20 379	19 587	19 071	18 939	18 781	15 939	15 939	36 538	36 538	36 320	35 936
12	Q_2 . mm^2	18 020	14 730	14 590	14 480	14 850	14 900	13 400	13 300	31 360	31 600	31 570	31 550
13	L eff. . . .	1,41	1,31	1,28	1,26	1,24	1,23	1,14	1,14	1,12	1,115	1,125	1,12
14	L plan. . .	1,465	1,38	1,34	1,32	1,275	1,26	1,18	1,20	1,165	1,16	1,15	1,14
15	L theor.$_1$.	1,44	1,35	1,32	1,30	1,26	1,24	1,17	1,17	1,12	1,12	1,13	1,11
16	L theor.$_2$.	1,47	1,39	1,35	1,33	1,27	1,25	1,18	1,18	1,14	1,13	1,14	1,13
17	L theor.$_3$.	1,50	1,405	1,37	1,34	1,28	1,26	1,185	1,19	1,15	1,14	1,15	1,14
18	L theor.$_4$.	1,48	1,395	1,36	1,335	1,28	1,26	1,19	1,19	1,15	1,15	1,15	1,14
19	H_2 plan. . .	124,3	112,4	111,4	110,5	130,3	130,7	117,5	116,7	178,2	178,5	178,9	178,7
20	H_2 theor.$_1$	126,1	114,5	113,2	111,8	132,1	132,6	119,2	119,3	184,8	184,8	182,4	182,9
21	H_2 theor.$_2$	125,6	113,0	111,0	109,8	131,1	131,7	118,8	118,7	182,9	182,9	180,3	181,0
22	H_2 theor.$_3$	121,6	110,7	109,2	108,4	130,0	130,7	118,0	117,9	180,9	180,8	178,5	179,0
23	H_2 theor.$_4$	122,8	111,5	110,0	109,0	130,3	130,7	117,7	117,1	180,0	180,1	178,9	178,9

Zahlen-

sächlich aber erfährt das Teilchen, wie wir wissen, die Längung 1; es muß also der Punkt im Längungsdiagramm (1 mm = 0,01 Längung) um 12 mm heruntergerückt werden, d. h. seine Längung muß um 0,12 Einheiten verringert werden. Nun wurde weiter geschlossen: Die Längung im Anfangsdruckpunkt liegt hinter der im Maximaldruckpunkt um 1,72−1,12 = 0,6 Einheiten zurück. Somit entspricht einem Zurückbleiben der Längung um 0,6 Einheiten eine Einziehung von 0,12 Einheiten = 12 mm im Diagramm. Um nun die Einziehungen der übrigen Punkte zu bestimmen, wurde die jeweilige Druckdifferenz zwischen diesen und dem Maximum errechnet und mit dem Quotienten $\frac{12}{0{,}6}$ multipliziert. Die sich hiernach ergebende Kurve (L th_2) ist gestrichelt eingezeichnet. Auf diese Weise wurden für die Einziehungen der einzelnen Punkte die Werte gefunden, die auf der Abbildung eingetragen sind.

Die Berechnung von L th_1 erfolgte, nachdem von der Summe $\frac{\Pi}{h}$ die Summe der durch die Einziehung bedingten Einzellängungsdifferenzen abgezogen worden ist, wie bei den ersten profilierten Stichen.

Ebenso wurden unter Zugrundelegung verschiedener Ausgangsfüllhöhen vier Auswertungen durchgeführt, deren Resultate auf den Abbildungen zu ersehen sind.

V. Die Resultate der Versuche und Auswertungen.

In Zahlentafel 4 sind die Versuchsdaten und die gewonnenen Auswertungsresultate, soweit sie sich auf die Untersuchung des ersten profilierten Stiches beziehen, wiedergegeben. Aus den Rubriken 2 und 3 ist zu ersehen, daß möglichst verschiedene Trägerkalibrierungen (von Träger 12 bis Träger 32), die auf verschiedenen Strecken gewalzt wurden, in den Bereich der Betrachtungen gezogen worden sind. Rubrik 4 und 5 gibt die chemische Zusammensetzung und die Temperatur des Materials im Momente des Stiches wieder. Letztere konnte bei den Versuchen zu Träger 22 infolge einer Störung am Pyrometer nur bei Block 14 festgestellt werden. Die Temperatur der nicht gemessenen Blöcke war ungefähr die gleiche und betrug schätzungsweise 1150°.

Die Höhe und Breite der Anstichblöcke ist in den Rubriken 6 und 7 eingetragen. Beide Maße wurden bei den gleichen Kalibern in möglichst weiten Grenzen zu variieren versucht. Diesem Bestreben war jedoch mit Rücksicht auf die Bruchgefahr der Walzen nach oben hin eine Grenze gesetzt.

Rubrik 8 zeigt die mittlere Breite des Profils nach erfolgtem Stich, Rubrik 9 das Maß der Breitung, ausgedrückt durch die Differenz B_2—B_1. In den Fällen 1, 5—8 und 17—23 war keine Ausbreitungsmöglichkeit gegeben, sondern es war eine ursprüngliche Riegelbreite

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
850	850	850	850	625	625	625	625	625	625	625	965	965	965	965
N.P.22	N.P.22	N.P.22	N.P.22	N.P.12	N.P.12	N.P.12	N.P.12	N.P.12	N.P.12	N.P.12	N.P.32	N.P.32	N.P.32	N.P.32
0,059	0,059	0,069	0,069	0,48	0,48	0,06	0,48	0,06	0,06	0,06	0,06	0,065	0,065	0,056
0,49	0,49	0,59	0,59	0,62	0,62	0,39	0,62	0,39	0,39	0,39	0,15	0,12	0,12	0,39
0,063	0,063	0,059	0,059	0,062	0,062	0,047	0,062	0,047	0,047	0,047	0,070	0,076	0,076	0,036
0,021	0,021	0,055	0,055	0,029	0,029	0,026	0,029	0,026	0,026	0,026	0,061	0,061	0,061	0,034
Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	0,085	0,085	Sp.	0,085	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
—	1050		—	1050	1150	1060	1195	1130	1020	1130	1030	1075	1050	1125
246	246	249	249	144	144	163	162	162	145	145	242	245	244	236
161	161	169	167	99	99	98	97	98	100	100	245	245	247	249
176,5	177	177	177	96	96	96	96	96	96	96	266	260	267,5	267
+15,5	+ 16	+ 8	+ 10	− 3	− 3	− 2	−1	− 2	− 4	− 4	+ 21	+ 15	+20,5	+ 18
123,5	129	124	123	85	86	84,5	87,5	84	84,5	85	160	175	127,5	104
39 520	39 520	41 995	41 497	14 235	14 235	15 971	15 693	15 857	14 179	14 479	59 204	59 939	60 182	58 678
32 880	33 480	32 840	32 850	11 745	11 770	12 220	12 420	12 130	11 840	11 730	55 650	57 290	53 000	48 710
1,18	1,16	1,23	1,22	1,17	1,16	1,27	1,24	1,26	1,18	1,18	—	—	—	—
1,20	1,18	1,28	1,26	1,21	1,21	1,31	1,26	1,31	1,22	1,23	1,06	1,05	1,135	1,205
1,16	1,14	1,21	1,21	1,17	1,17	1,24	1,20	1,24	1,185	1,19	—	—	—	—
1,18	1,16	1,23	1,23	1,18	1,175	1,25	1,21	1,25	1,19	1,20	1,03	1,03	1,14	1,25
1,195	1,17	1,24	1,24	1,18	1,18	1,26	1,22	1,25	1,20	1,21	1,02	1,03	1,16	1,27
1,20	1,17	1,25	1,25	1,20	1,19	1,28	1,24	1,27	1,20	1,21	1,04	1,03	1,15	1,25
186,3	189,1	185,5	185,6	122,3	122,6	127,3	129,4	126,3	123,3	122,2	209,2	220,3	198,1	182,4
192,6	196,0	195,7	194,2	126,3	126,8	134,1	136,2	133,6	127,3	126,6	—	—	—	—
190,1	193,0	192,9	190,9	126,7	126,2	132,9	135,1	132,6	126,3	125,7	217,2	224,7	196,9	176,2
187,7	190,8	192,2	189,4	125,4	125,8	132,1	134,2	131,8	125,9	125,2	216,4	223,7	194,6	173,3
187,1	190,2	189,7	188,0	123,6	124,9	130,3	131,9	129,9	125,2	124,6	214,1	222,9	195,7	175,6

tafel 4.

gewählt worden, die größer war, als die Breite des Kalibers, so daß eine Breitenverringerung stattfinden mußte.

Unter 10 ist die geringste Stegstärke der Profilabschnitte eingetragen, die bei den gleichen Kalibern durchaus nicht immer ein gleiches Maß aufweist. Es treten Unterschiede auf, trotzdem auf eine unveränderte Einstellung der Walzen geachtet wurde. Nur in den Fällen 24—27 ist eine Veränderung der Stegstärke absichtlich durch Verstellung der Oberwalze herbeigeführt. Fragen wir uns nach der Ursache dieser Erscheinung, so müssen wir verschiedene Faktoren in Betracht ziehen. Die beim Walzvorgang zwischen den Walzen auftretenden Walzdrucke (vergl. Puppe, Versuche über Walzdrucke an einem Blockwalzwerk, Literaturverzeichnis Nr. 21) bedingen eine mehr oder weniger starke Federung resp. Durchbiegung der Walzen, wie auch zu geringem Maße der Ständer, in welchen die Walzen gelagert sind. Naturgemäß nimmt das Maß der Durchbiegung mit der Größe des Walzdruckes zu. Letzterer aber steht in einem direkten Verhältnis zu der Höhe des Anstichblocks und wird von der Materialbeschaffenheit des Walzgutes und der Walztemperatur beeinflußt, derart, daß härteres Material und niedrigere Walztemperatur höhere Walzdrucke im Gefolge haben. Auch spricht hier die Temperatur der Walzen selbst mit. Weiter ist die Tourenzahl der Walzenstraße von Einfluß auf den Walzdruck und damit auf die Dimension des Steges. Eine höhere Drehzahl bedingt eine größere Volumenverdrängung von Walzmaterial in der Zeiteinheit. Puppe hat nachgewiesen, daß damit ein höherer Walzdruck Hand in Hand geht. Mit dem Maße der Stegstärke ändert sich aber auch die Füllung insofern, als beispielsweise bei größerer Durchbiegung der Steg eine geringere Streckung gegenüber den Flanschen erfährt, dadurch die Einziehung geringer und die Füllung eine bessere wird. Schließlich ist nicht außer acht zu lassen, daß die Stegdimension im erkalteten Zustand des Walzstabes festgestellt wurde, so daß also auch die infolge der verschiedenen Walztemperaturen unterschiedliche Schrumpfung des Steges Differenzen in der Steghöhe herbeizuführen geeignet ist. Treten, wie es bei einzelnen der untersuchten Riegel der Fall ist, gleichzeitig mehrere der genannten Faktoren im gleichen Sinne in Wirkung, so dürften dadurch die manchmal nicht unwesentlichen Differenzen der Stegstärken ihre Erklärung finden.

Da sich naturgemäß der Wert Q_2 mit der Stegstärke ändert, sind die ebengenannten Faktoren bei der Betrachtung der Füllungsresultate nicht zu übersehen.

In den Rubriken 11 und 12 sind die planimetrisch festgestellten Querschnitte der Profilabschnitte aufgeführt. Rubrik 13 zeigt die Werte für die effektive Längung, die durch Division der tatsächlich gemessenen Länge der Riegel nach dem Stich durch die gleichfalls gemessene Länge vor dem Stich erhalten wurde.

L plan. in Rubrik 14 wurde durch Division von $\frac{Q_2}{Q_1}$ errechnet.

Die Rubriken 15—18 bringen die nach Maßgabe der Auswertungen 1—4 erzielten theoretischen Längungsresultate.

In Rubrik 19 ist die planimetrisch gewonnene mittlere Höhe der Profilabschnitte eingetragen, die durch Division der Fläche Q_2 durch die mittlere Breite B_2 erhalten wurde.

Die Rubriken 20 bis 23 zeigen die auf Grund der verschiedenen Auswertungsmethoden errechneten theoretischen Füllungswerte.

Zum Vergleich der erhaltenen Versuchs- und Auswertungsresultate wurden die prozentualen Differenzen derselben in Zahlentafel 5 zusammengestellt und in den Abbildungen 9 und 10 kurvenmäßig zur Darstellung gebracht. (In den Rubriküberschriften und auf den Abbildungen wurden die Werte der Übersichtlichkeit halber in Quotientenform geschrieben.) Bei genauerer Betrachtung der Resultate drängt sich wohl in erster Linie die Frage auf, worin die relativ großen Unterschiede zwischen den gemessenen (L eff.) und der aus den Umrißlinien der Profilabschnitte planimetrisch gewonnenen Längungen (L plan.) ihren Grund haben. Um ein leichteres Fassen des Blockes im ersten eingeschnittenen Kaliber zu ermöglichen, werden die Einschnittskeilflächen mehr oder weniger stark eingehauen. Infolge davon geht ein allerdings geringer Teil des ursprünglichen Riegelmaterials in diese Einhauriefen und bildet Wülste, wie ein solcher auf Abbildung 4 deutlich zu erkennen ist. Diese Wülste wurden bei der Aufzeichnung der Kaliberumrisse weggelassen, da sich ihre Volumenbestimmung außerordentlich umständlich und ungenau gestalten würde, umsomehr als die von Hand eingemeißelten Einhauriefen verschiedene Tiefen aufweisen. Ferner ist die praktisch auftretende Kompression des Materials beim Walzen, die je nach der ursprünglichen Dichte des Riegelmaterials Schwankungen unterworfen ist, bei der planimetrischen Bestimmung nicht berücksichtigt worden. Bei letzterer ist schließlich auch der bei der Erwärmung der Riegel gefallene Abbrand nicht in Rechnung gezogen worden, insofern, als derselben die Ringeldimensionen vor der Erwärmung zu Grunde gelegt wurden. Der Nichtberücksichtigung dieser zahlenmäßig schwer zu fassenden 3 Faktoren ist es zuzuschreiben, daß die planimetrische Längung in allen Fällen größer ist als die effektive. Es wurde deshalb letztere als Vergleichswert der theoretischen Längungen mit den tatsächlichen Versuchslängungen ausgeschaltet und an deren Stelle die planimetrische Längung gesetzt, die mit gleichem Recht als die tatsächliche Längung anzusprechen ist. Ebenso wurde beim Vergleich der Füllungswerte verfahren.

Block Nr.	$\frac{\text{L plan.}}{\text{L eff.}}$ %	$\frac{\text{L plan.}}{\text{L th}_1}$ %	$\frac{\text{L plan.}}{\text{L th}_2}$ %	$\frac{\text{L plan.}}{\text{L th}_3}$ %	$\frac{\text{L plan.}}{\text{L th}_4}$ %	$\frac{\text{H}_2\ \text{th}_1}{\text{H}_2\ \text{plan.}}$ %	$\frac{\text{H}_2\ \text{th}_2}{\text{H}_2\ \text{plan.}}$ %	$\frac{\text{H}_2\ \text{th}_3}{\text{H}_2\ \text{plan.}}$ %	$\frac{\text{H}_2\ \text{th}_4}{\text{H}_2\ \text{plan.}}$ %
1	+ 3,9	+ 1,7	− 0,1	− 2,4	− 1,1	+ 1,4	+ 0,5	− 2,2	− 1,3
2	+ 5,3	+ 2,2	− 0,8	− 1,8	− 1,1	+ 1,8	+ 0,5	− 1,6	− 0,9
3	+ 4,7	+ 1,5	− 0,7	− 2,2	− 3,0	+ 1,6	− 0,4	− 2,0	− 1,3
4	+ 4,4	+ 1,5	− 0,8	− 1,5	− 1,2	+ 1,1	− 0,7	− 1,9	− 1,4
5	+ 2,8	+ 1,2	+ 0,3	− 0,4	− 0,4	+ 1,3	+ 0,6	− 0,3	± 0
6	+ 2,4	+ 1,6	+ 0,8	± 0,0	± 0	+ 1,4	+ 0,7	± 0	± 0
7	+ 3,5	+ 0,8	± 0	− 0,5	− 0,9	+ 1,4	+ 1,1	+ 0,4	− 0,1
8	+ 5,2	+ 2,5	+ 1,7	+ 0,8	+ 0,8	+ 2,2	+ 1,7	+ 1,0	+ 0,3
9	+ 4,0	+ 4,0	+ 2,2	+ 1,3	+ 1,3	+ 3,7	+ 2,6	+ 1,5	+ 1,0
10	+ 4,0	+ 3,5	+ 2,6	+ 1,7	+ 0,8	+ 3,5	+ 2,5	+ 1,3	+ 0,8
11	+ 2,2	+ 1,7	+ 0,8	± 0	± 0	+ 1,9	+ 0,7	− 0,2	± 0
12	+ 1,8	+ 2,7	+ 0,8	± 0	± 0	+ 2,3	+ 1,2	+ 0,1	+ 0,1
13	+ 1,6	+ 3,4	+ 1,6	+ 0,4	± 0	+ 3,3	+ 2,0	+ 0,7	+ 0,4
14	+ 1,7	+ 3,5	+ 1,7	+ 0,8	+ 0,8	+ 3,6	+ 2,0	+ 0,9	+ 0,5
15	+ 4,0	+ 5,7	+ 4,0	+ 3,2	+ 2,4	+ 5,5	+ 3,9	+ 3,6	+ 2,3
16	+ 3,2	+ 4,1	+ 2,4	+ 1,6	+ 0,8	+ 4,6	+ 2,8	+ 2,0	+ 1,3
17	+ 3,4	+ 3,4	+ 2,5	+ 2,5	+ 0,8	+ 3,2	+ 3,5	+ 2,5	+ 1,0
18	+ 4,3	+ 3,4	+ 2,9	+ 2,5	+ 1,6	+ 3,4	+ 2,9	+ 2,6	+ 1,8
19	+ 3,1	+ 5,6	+ 4,8	+ 3,9	+ 2,3	+ 5,3	+ 4,4	+ 3,7	+ 2,3
20	+ 1,6	+ 5,0	+ 4,1	+ 3,3	+ 1,6	+ 5,2	+ 4,4	+ 3,7	+ 1,9
21	+ 3,4	+ 5,6	+ 4,8	+ 4,8	+ 3,1	+ 5,7	+ 4,9	+ 4,3	+ 2,8
22	+ 3,4	+ 2,9	+ 2,5	+ 1,6	+ 1,6	+ 3,2	+ 2,4	+ 2,1	+ 1,5
23	+ 4,2	+ 3,3	+ 2,5	+ 1,6	+ 1,6	+ 3,6	+ 2,8	+ 2,4	+ 1,9
24	—	—	+ 2,9	+ 3,9	+ 1,9	—	+ 3,8	+ 3,4	+ 2,3
25	—	—	+ 1,9	+ 1,9	+ 1,9	—	+ 1,9	+ 1,5	+ 1,2
26	—	—	− 0,5	− 2,2	− 1,4	—	− 0,6	− 1,8	− 1,3
27	—	—	− 3,6	− 5,2	− 3,6	—	− 3,4	− 5,0	− 3,8

Zahlentafel 5.

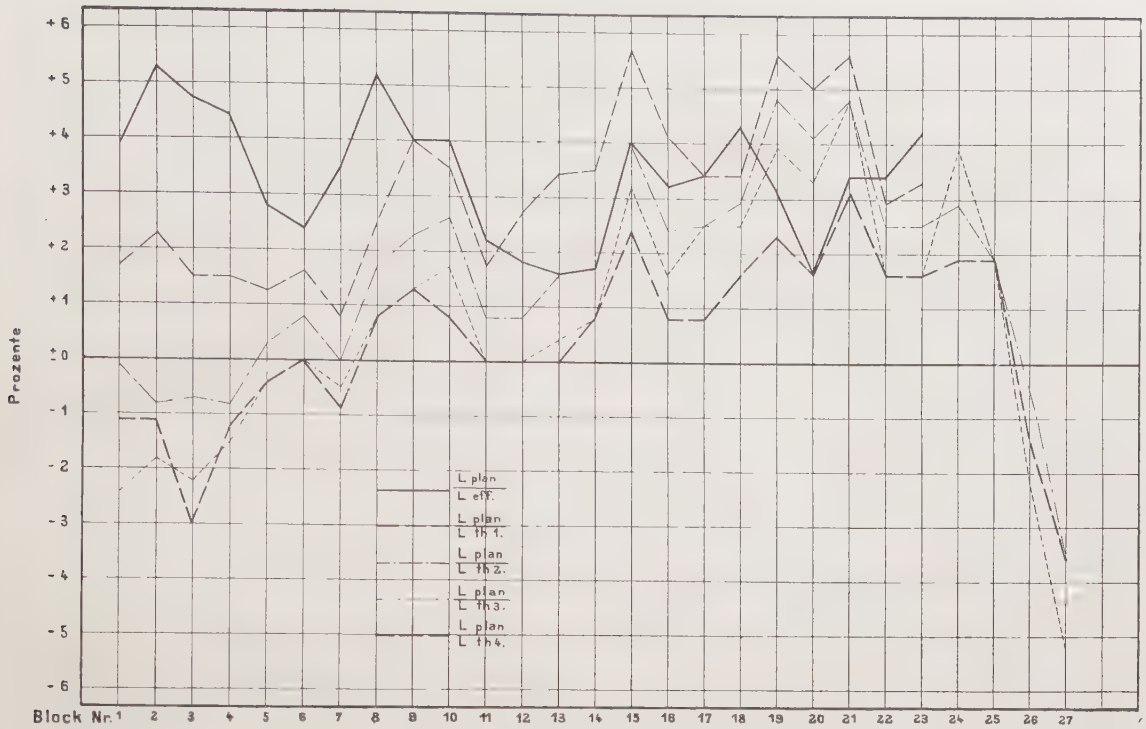


Abb. 9.

Die zur Auswertung 1 gehörigen Kurven $\frac{\text{L plan.}}{\text{L th}_1}$ und $\frac{\text{H}_2\ \text{th}_1}{\text{H}_2\ \text{plan.}}$ auf Abbildung 9 und 10 zeigen die größte Abweichung von der Nullinie, während die auf den Auswertungen 2, 3 und 4 basierenden Kurven im wesentlichen eine zunehmende Verbesserung der Resultate in der Reihenfolge der nach einander angewandten Rechnungsmethoden aufweisen. Damit ist ohne Zweifel der Beweis erbracht, daß die zur Durchführung gebrachten Modifikationen der Auswertungsmethode ihre verbessernde Berechtigung haben.

In Zahlentafel 6 sind die Werte $L'\,th_3$ und $H_2'\,th_3$ mit den Werten $Lt\,h_3$ und $H_2\ th_3$ in Vergleich gestellt. Erstere wurden erhalten, wenn die Breitung nach dem Vorschlag W. Tafels nicht in der Längungs- wohl aber der Füllungsformel durch den Quotienten B_1 durch B_2 berücksichtigt wurde. Die Kurven auf Abbildung 11 zeigen klar die bedeutend bessere Übereinstimmung der planimetrischen Werte mit den theoretischen, nachdem die ursprüngliche Formel W. Tafels nach den oben ausgeführten Gesichtspunkten eine Änderung in ihrer Anwendung erfahren hat.

Die Kurven $\frac{\text{L plan.}}{\text{L th}_4}$ und $\frac{\text{H}_2\ \text{th}_4}{\text{H}_2\ \text{plan.}}$, die als Definitivum zu betrachten sind, verlaufen teils auf der positiven, teils auf der negativen Seite der Nullinie. Es sind also die theoretisch errechneten Werte bald größer und bald kleiner als die tatsächlich festgestellten. Die auftretenden Differenzmaxima gehen nicht über + 3,1 % und — 3,6 % bei den Längungswerten

Block Nr.	$L'\,th_3$	$H_2'\,th_3$ mm	$\frac{\text{L plan.}}{L'\,th_3}$ %	$\frac{\text{L plan.}}{\text{L th}_3}$ %	$\frac{H_2'\,th_3}{H_2\,plan.}$ %	$\frac{H_2\,th_3}{H_2\,plan}$ %
1	1,438	126,5	+ 1,9	— 2,4	+ 1,8	— 2,2
2	1,445	107,7	— 4,5	— 1,8	— 4,2	— 1,6
3	1,391	107,5	— 3,7	— 2,2	— 3,5	— 2,0
4	1,365	106,6	— 3,3	— 1,5	— 3,6	— 1,9
5	1,212	137,1	+ 5,2	— 0,4	+ 5,2	— 0,3
6	1,209	136,2	+ 4,2	± 0	+ 4,2	± 0
7	1,126	124,1	+ 4,8	— 0,5	+ 5,6	+ 0,4
8	1,128	123,9	+ 6,3	+ 0,8	+ 6,2	+ 1,0
9	1,205	172,4	— 3,4	+ 1,3	— 3,3	+ 1,5
10	1,206	171,3	— 3,9	+ 1,7	— 4,1	+ 1,3
11	1,220	168,7	— 5,8	± 0	— 5,7	— 0,2
12	1,211	168,2	— 5,9	± 0	— 5,7	+ 0,1
13	1,310	171,0	— 8,4	+ 0,4	— 8,3	+ 0,7
14	1,289	173,4	— 8,5	+ 0,8	— 8,3	+ 0,9
15	1,295	183,5	— 1,2	+ 3,2	— 1,1	+ 3,6
16	1,314	178,5	— 4,1	+ 1,6	— 3,9	+ 2,0
17	1,148	129,6	+ 5,4	+ 2,5	+ 5,8	+ 2,5
18	1,144	129,7	+ 5,7	+ 2,5	+ 5,8	+ 2,6
19	1,233	134,6	+ 6,2	+ 3,9	+ 5,8	+ 3,7
20	1,207	135,4	+ 4,4	+ 3,3	+ 4,6	+ 3,7
21	1,228	134,5	+ 6,6	+ 4,8	+ 6,5	+ 4,3
22	1,152	130,9	+ 5,9	+ 1,6	+ 6,1	+ 2,1
23	1,158	130,2	+ 6,2	+ 1,6	+ 6,5	+ 2,4
24	1,118	199,2	— 5,1	+ 3,9	— 4,9	+ 3,4
25	1,095	210,7	— 4,2	+ 1,9	— 4,4	+ 1,5
26	1,253	179,3	— 9,5	— 2,2	— 9,5	— 1,8
27	1,361	161,4	— 11,5	— 5,2	— 11,6	— 5,0

Zahlentafel 6.

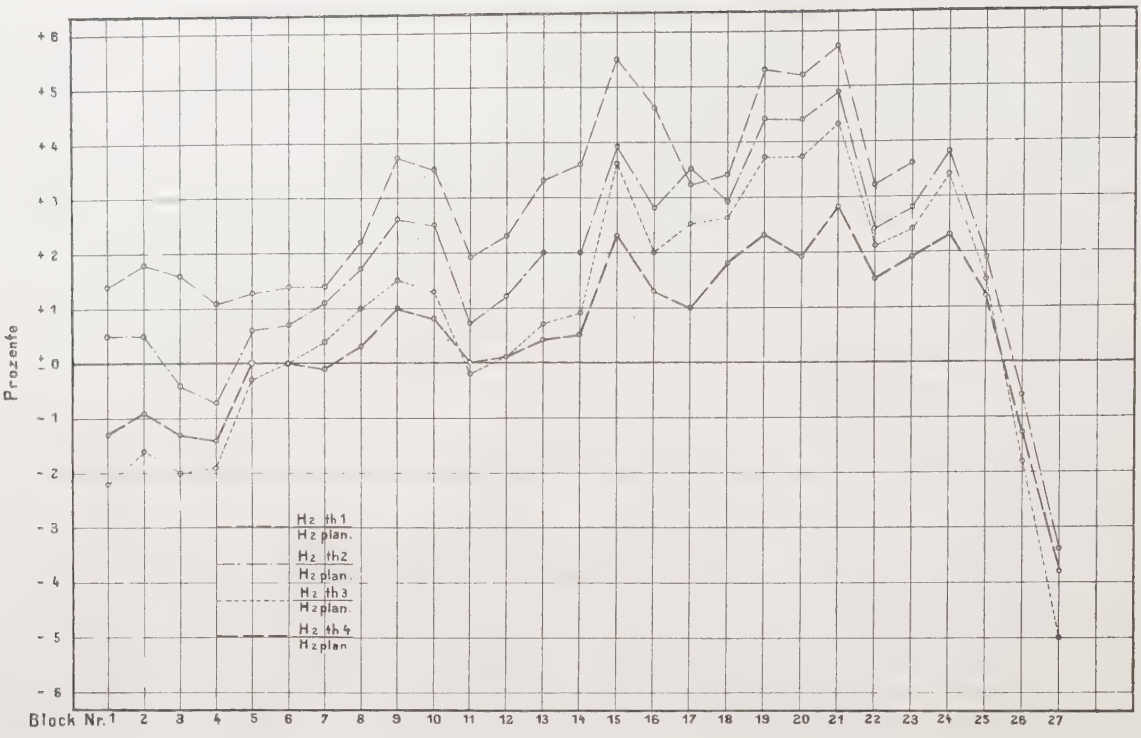


Abb. 10.

und nicht über + 2,8 % und — 3,8 % bei den Füllungswerten hinaus. Das absolute Differenzmittel jedoch beträgt bei den Längungswerten nur 1,33 %, bei den Füllungswerten sogar nur 1,24 %. Tatsächlich zeigt sich auch bei der Durchsicht der Tafeln, daß die Füllungswerte der Auswertung 4 in der weitaus größeren Mehrzahl der Fälle innerhalb des Bereiches der Flanschenberge zu liegen kommen, womit allein schon die praktische Brauchbarkeit der

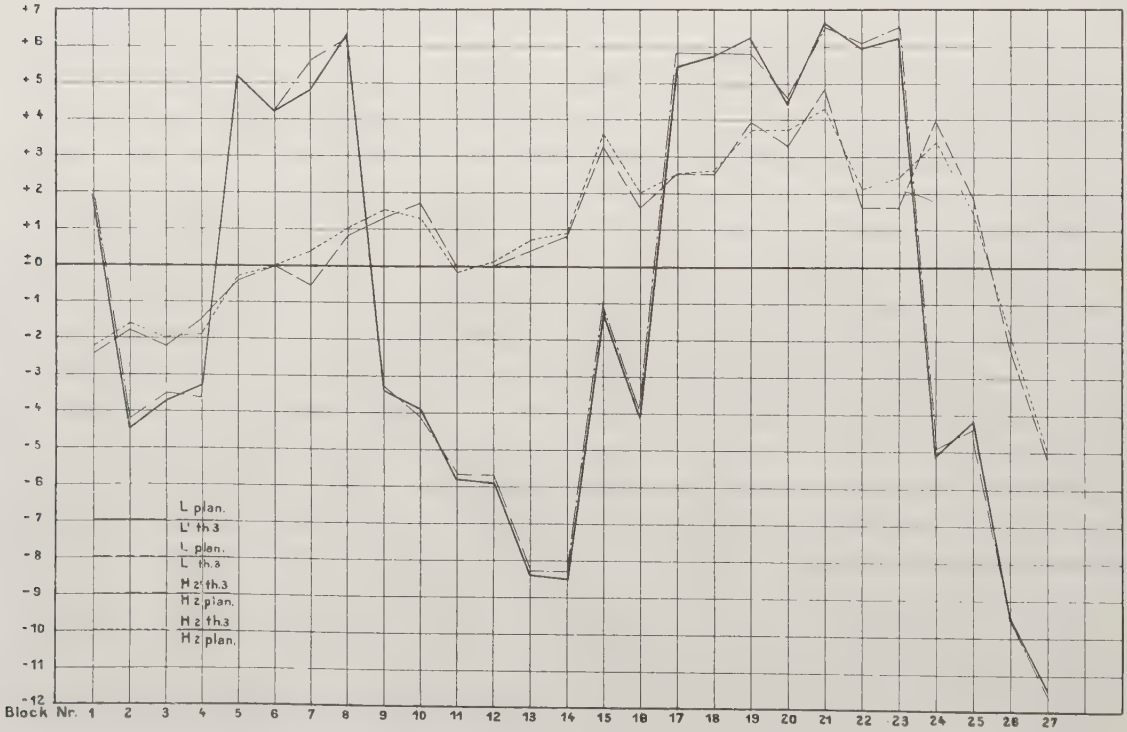


Abb. 11.

Füllungsformel für irreguläre Profile einwandfrei bewiesen sein dürfte. Wird weiter die große Zahl der Faktoren, welche die Füllung beeinflussen, jedoch formelmäßig in ihrer Wirkung auf diese nicht gefaßt werden können, sowie die mannigfachen Störungen, die außerhalb der Theorie liegen, in Betracht gezogen, so müssen die erhaltenen Resultate als außerordentlich gute bezeichnet werden.

Es sei in folgendem der Faktoren Erwähnung getan, welche auf die Füllung des ersten profilierten Stiches einer Trägerkalibrierung von Einfluß sind.

a) Faktoren, die in der theoretischen Formel direkt oder indirekt berücksichtigt werden.
b) Faktoren, die außerhalb der formelhaften Anwendung der Theorie liegen, die Fehlerquellen der Versuche und Auswertungen.

ad a). Hierher gehört in erster Linie die Höhe des Anstichriegels. Auf Abb. 12 ist eine Reihe von angenommenen Fällen theoretisch ausgewertet, bei denen die Dimensionen des Riegels wie die des Kalibers systematisch geändert sind. Es soll damit gezeigt werden, inwieweit die theoretische Errechnung der Füllhöhe den einzelnen Faktoren, die sie nach den Erfahrungen der Praxis beeinflussen, gerecht wird. So zeigen die Pos. 8 und 9 gegenüber Pos. 7, daß ein höherer Block naturgemäß mehr, ein niedrigerer Block weniger füllt als ein solcher, der die gleiche Höhe hat, welche das Kaliber aufweist. Praktisch ist die Höhe des Anstichblockes nach oben hin durch die wachsende Schwierigkeit des Erfaßtwerdens von den Walzen begrenzt. Ein leichtes und schnelles Erfassen des Walzgutes aber ist neben einer anzustrebenden guten Flanschenfüllung von außerordentlicher Wichtigkeit; denn von diesem hängt, wie schon Holzweiler (vergl. Literaturangabe Nr. 16) ausführt, sehr wesentlich die Produktion, der Kraftbedarf und der Walzenverschleiß ab.

Den Einfluß der Breitung, oder besser gesagt, der Ausbreitungsmöglichkeit des Materials im Kaliber nach der Theorie zeigen die Pos. 5 und 6 gegenüber Pos. 1 sowie die Pos. 10 und 11 gegenüber Pos. 7. Demnach füllt ein breiterer Block, in das gleiche Kaliber eingeführt, besser als ein schmälerer. Der Fall, daß der Block breiter ist als das Kaliber, in das er zum Anstich gebracht werden soll, ist praktisch nur unter geringen Breitedifferenzen denkbar und nur unter Anwendung einer starken Konizität der seitlichen Begrenzungsflächen des Kalibers möglich. Siehe Zahlentafel 4, die Fälle 1, 5—8 und 17—22. Die Resultate der praktischen Versuche geben keinen einwandfreien Aufschluß über den Einfluß der Breitung, wie es überhaupt leider nicht zu erreichen war, die einzelnen Faktoren in ihrem Einfluß auf die Füllung auf Grund der praktisch erzielten Versuchsresultate zahlen- oder kurvenmäßig festzustellen. Es kommt dies daher, daß eine Erreichung dieses Zieles nur so möglich wäre, daß unter Beibehaltung der gleichen Größe aller anderen Einflußfaktoren immer nur ein Faktor geändert würde, was bei der großen Anzahl der letzteren praktisch sehr schwer ist, im Walzwerk aber mit Rücksicht auf die Aufrechterhaltung des Betriebes ausgeschlossen erscheint. Sobald jedoch mehrere Faktoren gleichzeitig eine Änderung erfahren, ist ihre Wirkung nicht mehr klar zu erkennen, da sie sich gegenseitig überdecken und so das Bild trüben. Tatsächlich scheinen bei der Breitung zwei Faktoren gegeneinander zu wirken. Setzen wir den Fall, es sei eine Ausbreitungsmöglichkeit gegeben, dann geht einerseits durch das in die Breite gehende Material solches in der Höhe verloren und andererseits wird die Längung durch Stehenbleiben der seitlichen Materialteilchen, die an der Breitung teilnehmen, zurückgehalten und wirkt im entgegengesetzten Sinne. Es hängt also die Füllung von dem Vorwiegen des einen oder des anderen Faktors ab. Daher kann der Fall eintreten, daß eine große Breitung die mittlere Höhe nach dem Stich vergrößert statt vermindert, besonders dann, wenn die Flanschenbreite sehr gering ist, weil in diesem Fall das Material höher steigen muß, um das gleiche Q_2 zu ergeben. Andererseits scheint erwiesen zu sein, daß eine geringe Ausbreitungsmöglichkeit die Füllung im allgemeinen verringert. Es mag dies daher rühren, daß bei dem Auftreten stärkerer Seitenreibung das Material von den Walzrändern vor allem bei der mahlenden Wirkung der Patritzenränder mehr in die Länge mit fortgerissen wird.

Die Pos. 1 und 4 auf Abb. 12 erläutern den Einfluß der Einschnittstiefe des Kalibers, derart, daß das Kaliber umso schlechter füllt, je tiefer der Einschnitt in das Material erfolgt. Es ist dies sehr wohl verständlich, wenn in Betracht gezogen wird, daß das Material durch die eine nach der Wurzel des Flansches sich abzweigende Schubkomponente heruntergedrückt wird. Diese Tendenz wird sich vor allem in der Matritze stark geltend machen. Ferner kann die Wirkung des starken Einschneidens mit dem Einfluß der vergrößerten Seitenreibung in Zusammenhang gebracht werden, da anzunehmen ist, daß letztere mit der Tiefe des Einschnittskeiles zunimmt. Will man, wie beispielsweise zur Erreichung breitflanschiger Träger, eine möglichst weitgehende Ausbildung der Flanschen im ersten Kaliber erzielen, so kann man dies dadurch erreichen, daß man durch mehrmaligen Anstich in das gleiche Kaliber und durch Senkung der Oberwalze ein stufenweises Eindringen des Ein-

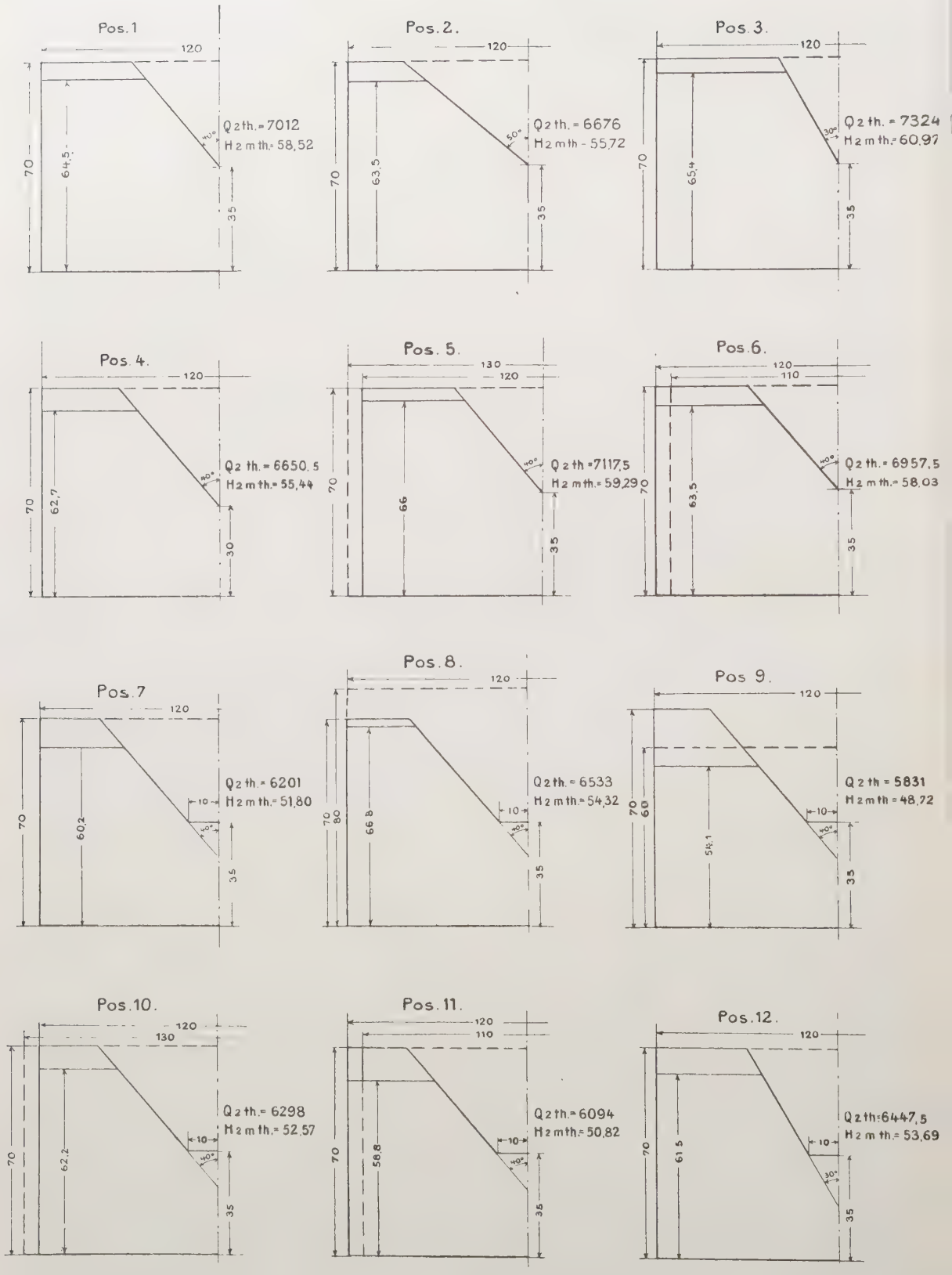

Pos. 1
120
70
64,5
35
Q 2 th. = 7012
H 2 m th. = 58,52
Pos. 2.
120
70
63,5
35
Q 2 th. = 6676
H 2 m th - 55,72
Pos. 3.
120
70
65,4
35
Q 2 th. = 7324
H 2 m th. = 60,97
Pos. 4.
120
70
62,7
30
Q 2 th. = 6650,5
H 2 m th. = 55,44
Pos. 5.
130
120
70
66
35
Q 2 th = 7117,5
H 2 m th. = 59,29
Pos. 6.
120
110
70
63,5
35
Q 2 th. = 6957,5
H 2 m th. = 58,03
Pos. 7
120
70
60,2
10
35
Q 2 th. = 6201
H 2 m th. = 51,80
Pos. 8.
120
70
80
66,8
10
35
Q 2 th. = 6533
H 2 m th. = 54,32
Pos 9.
120
70
60
54,1
10
35
Q 2 th = 5831
H 2 m th = 48,72
Pos. 10.
120
130
70
62,2
10
35
Q 2 th. = 6298
H 2 m th. = 52,57
Pos. 11.
120
110
70
58,8
10
35
Q 2 th. = 6094
H 2 m th. = 50,82
Pos. 12.
120
70
61,5
10
35
Q 2 th = 6447,5
H 2 m th. = 53,69

Abb. 12.

schnittskeiles herbeiführt. Zur Illustrierung dieser Tatsache wurde auf der 965er Reversierstraße, die eine verstellbare Oberwalze besitzt, ein Riegel dreimal durch das erste Kaliber gegeben. Dabei betrug das Maß der Einstellung der geringsten Stegstärke erstlich 160 mm, das zweite Mal 122 mm und schließlich 103 mm. Darauf wurde ein anderer Riegel, der die gleichen Dimensionen aufwies, einmal durch das Kaliber gegeben, das gleich auf 103 mm eingestellt war. Es zeigte sich sodann in Übereinstimmung mit den obigen Ausführungen, daß, während in beiden Fällen $Q_1 = 59\,520$ mm² war, der stufenweise gedrückte Querschnitt $Q_2 = 49\,700$ mm² wurde im Gegensatz zu dem auf einen Durchgang herunter gedrückten Riegel, der ein Q_2 von 48 760 mm² aufwies.

In vollem Einklang mit den Erfahrungen der Praxis steht die Wirkung der Größe des Einschnittswinkels, die sich mit Hilfe der theoretischen Errechnung nach Pos. 1, 2 und 3 wie Pos. 7 und 12 auf Abb. 12 so darstellt, daß der steilere Einschnitt eine bessere Flanschenfüllung im Gefolge hat. Es ist auch leicht einzusehen, daß der Einschnittskeil in das Material um so leichter und tiefer eindringt, je spitzer sein Winkel ist.

Ähnlich ist die Wirkung der Abrundung des Einschnittskeiles, indem erklärlicherweise der spitze Keil ebenfalls leichter in das Material eindringt als der abgestumpfte. Auch hierin ergibt das Resultat der theoretischen Errechnung eine Bestätigung der praktischen Erfahrung. Vergl. die Pos. 1 und 7 auf Abb. 12.

ad b) Der Faktoren, welche die Füllung beeinflussen, jedoch in der theoretischen Formel keine Berücksichtigung finden, gibt es mehrere. Es dürfte durch eine höhere Walztemperatur im allgemeinen eine bessere Füllung zu erzielen sein. Einmal deshalb, weil der Einschnittskeil in das plastischere Material besser eindringen kann, ferner aus dem Grunde, weil der zwischen dem stärker gedrückten Steg und den weniger gedrückten Flanschen notwendig erfolgende Materialausgleich in dem infolge höherer Temperatur bildsameren Material einen geringeren Widerstand in sich selbst — W. Tafel nennt ihn den Wanderwiderstand — findet. Damit kann dem Einziehen der Flanschen durch das andererseits in größerem Maße erfolgende Abwandern von Material aus dem Steg stärker entgegengearbeitet werden. Die Flanschen werden also eine geringere Einziehung erfahren.

In gleichem Sinne wirkt die Materialbeschaffenheit, indem härteres Material einen größeren Wanderwiderstand aufweisen wird als weicheres.

Indirekt wirken beide Faktoren in gleicher Weise auf die Füllung, als eine niedrigere Temperatur und härteres Material eine größere Durchbiegung also geringeres Eindringen des Einschnittskeiles im Gefolge haben. Um die Theorie des Wanderwiderstandes zu prüfen, wurden versuchsweise die Ränder der Flanschen im Kaliber beim Walzen mit Teer geschmiert. Die erwartete bessere Füllung blieb jedoch aus. Es mag dies damit zusammenhängen, daß bei den untersuchten Profilen die übrigen den Wanderwiderstand beeinflussenden Umstände im Innern des Querschnitts im gegenteiligen Sinne stärker gewirkt haben, als die ein besseres seitliches Abwandern zum Ziele habende Verringerung des Wanderwiderstandes an der Oberfläche des Querschnitts durch Schmierung.

Weiter ist nicht zu übersehen, daß die Bearbeitung des Materials, ein geschlossenes Kaliber vorausgesetzt, in den Patritzenflanschen eine wesentlich andere ist als in den Matrizenflanschen. In den ersteren wird das Material durch die mahlende Wirkung zweier sich entgegengesetzt drehender Walzränder mehr gestreckt werden als in den Matrizenflanschen, in denen ein Stauchen und ein stärkeres Hinabdrücken des Materials nach den Flanschenwurzeln stattfindet. Diese Vorgänge sind jedoch derartig komplizierter Natur, daß es noch nicht gelungen ist, sie zahlenmäßig zu fassen.

Um zu zeigen, welchen Zufälligkeiten die Flanschenfüllung vielfach unterworfen ist,

Block Nr.	Summe der Flanschen oben	Summe der Flanschen unten	% Σ Flanschen ob. Σ Flansch. unt.	Summe der Flanschen rechts	Summe der Flanschen links	% Σ Flansch. rechts Σ Flansch. links
1	4 280	3 270	+ 31	3 730	3 820	− 2
2	3 010	2 800	+ 7	2 950	2 860	+ 3
3	2 970	2 710	+ 9	2 860	2 820	+ 1
4	2 800	2 820	± 0	2 850	2 770	+ 3
5	2 620	2 440	+ 7	2 520	2 540	− 1
6	2 630	2 490	+ 5,5	2 570	2 550	+ 1
7	2 240	1 700	+ 32	1 910	2 030	− 6
8	2 100	1 800	+ 17	1 950	1 950	± 0
9	4 600	4 520	+ 2	4 430	4 690	− 5
10	5 370	4 170	+ 29	4 790	4 750	+ 1
11	5 420	4 350	+ 25	4 940	4 830	+ 2
12	5 350	4 230	+ 26	4 910	4 670	+ 5
13	6 170	5 000	+ 23	5 540	5 630	− 2
14	6 060	4 420	+ 37	5 170	5 310	− 3
15	5 960	4 780	+ 25	5 400	5 340	+ 1
16	6 160	4 820	+ 28	5 480	5 500	± 0
17	2 030	1 590	+ 27	1 810	1 810	± 0
18	2 010	1 580	+ 27	1 760	1 830	− 4
19	2 350	1 800	+ 30	2 090	2 060	+ 1
20	2 330	1 700	+ 37	2 030	2 000	+ 1
21	2 380	1 750	+ 36	2 060	2 070	± 0
22	2 060	1 640	+ 25	1 820	1 880	− 3
23	1 990	1 660	+ 20	1 800	1 850	− 3
24	7 040	5 990	+ 18	6 580	6 450	+ 2
25	6 180	5 690	+ 9	6 120	5 750	+ 6
26	10 060	8 820	+ 14	9 510	9 370	+ 1
27	11 180	9 940	+ 12	10 510	10 610	− 1

Zahlentafel 7.

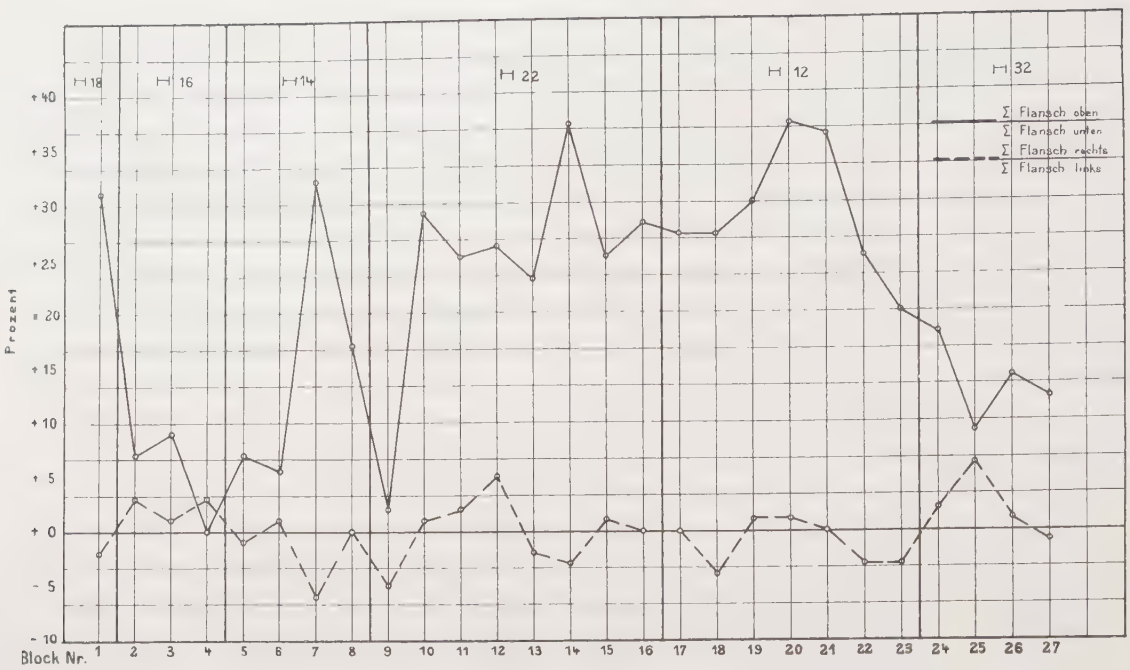


Abb. 13.

wurden in Zahlentafel 7 die prozentualen Unterschiede der Flanschenfüllungen der oberen Flanschen gegenüber den unteren und der linksseitigen Flanschen gegenüber den rechtsseitigen zusammengestellt. Würde der Block im gleichen Kaliber stets in gleicher Weise gefaßt, so müßten diese Unterschiede innerhalb desselben Kalibers garnicht oder nur wenig differieren. Wie jedoch die Kurven auf Abb. 13 zeigen, treten interessanterweise zum Teil recht erhebliche Differenzschwankungen auf. Diese rühren offenbar daher, daß die Blöcke hinsichtlich ihrer Höhe wie Breite ganz unterschiedlich gefaßt werden. Es hängt dies von Zufälligkeiten, wie der Ausbildung des Riegelkopfes, der zuerst in das Kaiber gelangt, oder der Stellung der Einführungen oder anderen Umständen ab, die ein schiefes Erfassen bedingen können.

Von den zahlreichen Auswertungen, die von den späteren Stichen einiger Trägerkalibrierungen durchgeführt wurden, seien nur die vier Resultate des zweiten bis vierten Stiches von Normalprofil 32 wiedergegeben.

Block Nr.	Q_2 th$_2$	Flanschen mm²				Summe der Flanschen	q_1 th$_2$—q_1 plan mm²				Q_2 th$_2$—Q_2 plan.
		oben		unten			oben		unten		
	mm²	links	rechts	links	rechts	mm²	links	rechts	links	rechts	mm²
28	37 011	5 700	6 260	4 880	4 920	21 790	— 460	— 507	— 395	— 397	— 1759
29	26 769	5 540	5 330	3 840	4 130	18 835	— 865	— 832	— 599	— 645	— 2941
30	20 077	3 690	3 670	3 010	3 060	13 430	— 323	— 319	— 264	— 267	— 1173
31	15 810	2 720	2 730	2 440	2 440	10 330	— 210	— 210	— 190	— 190	— 800

Zahlentafel 8.

Block Nr.	Q_2 th$_3$	Q_2 th$_2$—Q_2 th$_3$	Flanschberge				Summe der Flanschberge	Q_2 th$_3$—Q_2 plan.	q_2 th$_3$—q_2 plan.			
			oben		unten				oben		unten	
			links	rechts	links	rechts			links	rechts	links	rechts
28	36 708	+ 303	540	400	520	710	2170	—2062	— 535	— 564	— 467	— 496
29	26 712	+ 57	260	330	330	340	1260	—2998	— 877	— 847	— 614	— 660
30	19 988	+ 89	140	150	260	270	820	—1262	— 337	— 336	— 293	— 296
31	15 872	— 62	100	130	170	190	590	— 738	— 198	— 202	— 170	— 168

Zahlentafel 9.

Diese genügen, um zu zeigen, daß die Ausrechnung mittels der theoretischen Formel hier Resultate ergibt, die als praktisch wenig brauchbar mehr zu bezeichnen sind. In den Zahlentafeln 8 und 9 sind die Zwischenresultate, in Zahlentafel 10, 11 und 12 die Endresultate und ihre gegenseitigen Verhältnisse zusammengestellt. Bei den späteren Stichen

Block Nr.	$q_2\ th_4 - q_2$ plan mm²				$Q_2\ th_4 - Q_2$ plan. mm²
	oben		unten		
	links	rechts	links	rechts	
28	— 485	— 480	— 425	— 400	— 1790
29	— 815	— 770	— 550	— 585	— 2720
30	— 290	— 280	— 220	— 270	— 1060
31	— 180	— 200	— 160	— 190	— 730

Zahlentafel 10.

bringen die seitliche Bearbeitung in den Flanschen, die mahlende Wirkung der Patritze, der erhöhte Seitendruck etc. in solch hohem Maße Einflüsse zur Geltung, die naturgemäß außerhalb der Theorie liegen, daß die sich ergebenden größeren Differenzen zwischen der errechneten und der tatsächlichen Füllung nicht überraschen können.

Fassen wir nunmehr die Resultate zusammen, so muß konstatiert werden, daß die Übereinstimmung der theoretischen Werte mit den effektiven beim Übergang vom Block zum ersten eingeschnittenen Kaliber eine gute ist,

Block Nr.	28	29	30	31
Stich Nr.	2	3	4	5
Q_1	48 920	38 650	29 740	21 380
Q_2	38 770	29 710	21 250	16 610
B_1	268	276	286	297
B_2	276	286	297	307
Temp. ° C.	1 050	1 050	1 075	1 020
H_1 m	182,5	140,1	103,9	71,9
H_2 m plan.	140,4	103,8	71,5	54,1
L plan.	1,262	1,300	1,399	1,287
L th_1	1,336	1,454	1,521	1,386
L th_2	1,319	1,438	1,478	1,346
L th_3	1,330	1,444	1,485	1,343
L th_4	1,322	1,432	1,473	1,346
H_2 th_1	132,5	92,9	65,6	50,1
H_2 th_2	134,1	93,6	67,6	51,5
H_2 th_3	133,0	93,4	67,3	51,7
H_2 th_4	133,9	94,3	68,0	51,7
H_2 plan.	140,4	103,8	71,5	54,1

Zahlentafel 11.

daß sie jedoch geringer wird, wenn der Druck kein wesentlich vertikaler mehr ist, wie dies bei den späteren Stichen der Trägerkalibrierungen zutrifft. Um je spätere Profile es sich jedoch handelt, desto weniger wird aber auch die Untersuchung verschieden gedrückter Querschnitte nötig, weil desto mehr mit gleichmäßiger Querschnittsverminderung gearbeitet

Block Nr.	28	29	30	31
$\frac{L\ th_1}{L\ plan.}$ %	— 5,6	— 10,6	— 8,1	— 7,2
$\frac{L\ th_2}{L\ plan.}$ %	— 4,4	— 9,0	— 5,4	— 4,4
$\frac{L\ th_3}{L\ plan.}$ %	— 5,2	— 9,0	— 5,8	— 4,2
$\frac{L\ th_4}{L\ plan.}$ %	— 4,5	— 9,2	— 5,1	— 4,4
$\frac{H_2\ th_1}{H_2\ plan.}$ %	— 5,7	— 10,5	— 8,2	— 7,3
$\frac{H_2\ th_2}{H_2\ plan.}$ %	— 4,5	— 9,8	— 5,5	— 4,8
$\frac{H_2\ th_3}{H_2\ plan.}$ %	— 5,3	— 10,0	— 5,9	— 4,4
$\frac{H_2\ th_4}{H_2\ plan.}$ %	— 4,6	— 9,2	— 4,9	— 4,5

Zahlentafel 12.

werden kann. Von irregulären Profilen, in dem eingangs dieser Abhandlung erwähnten Sinn kann demnach im wesentlichen nur bei dem Übergang vom Block zum ersten profilierten Stich die Rede sein. Hier allein ist auch die Möglichkeit einer Vorausberechnung der Flanschenfüllung von Interesse.

VI. Materialuntersuchung und Schlüsse aus derselben auf den Walzvorgang.

Im Anschluß an die vorstehenden Untersuchungen werden zur Entscheidung der Frage, inwieweit eventuell die Untersuchung einiger Materialeigenschaften zur Klärung des Walzvorgangs herangezogen werden könnte, einige Proben angestellt.

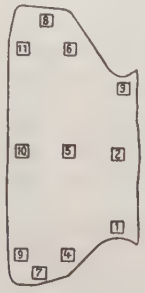


Abb. 14.

Aus dem Abschnitt des Riegels 14 (siehe Zahlentafel 4) wurden nach Art der Abb. 14 verschiedene Scheiben herausgeschnitten und diese an der Abbildung entsprechenden, mit Nummern versehenen Stellen mittels dreier Methoden untersucht.

1. Prüfung durch die Brinellsche Kugeldruckprobe. Diese wurde unter Anwendung einer Kugel von 10 mm Durchmesser bei einer Belastung von 3000 kg während 30 Sekunden in der bekannten Weise durchgeführt. An jeder

der 11 Versuchsstellen wurden 3 Eindrücke gemacht. Folgende Zahlentafel gibt die Einzelwerte, die Mittel und die zugehörigen Härtezahlen wieder.

Versuchsstelle	Durchmesser des Eindrucks in mm				Härtezahl
	a	b	c	Mittel	
1	5,490	5,605	5,716	5,604	111,7
2	5,369	5,399	5,330	5,366	123
3	5,435	5,521	5,895	5,617	111
4	5,628	5,624	5,773	5,675	108
5	5,436	5,334	5,406	5,392	121,5
6	5,649	5,558	5,659	5,622	110,7
7	5,902	5,698	5,912	5,837	101,5
8	5,626	5,711	5,805	5,714	106,4
9	5,755	5,668	5,780	5,734	105,6
10	5,620	5,644	5,691	5,654	108,9
11	5,650	5,570	5,754	5,661	108,4

Zahlentafel 13.

2. Untersuchung mittels der Löslichkeitsprobe. An den bezeichneten Stellen wurden Proben von ca. $10 \times 10 \times 5$ mm herausgeschnitten und diese durch Abschmirgeln auf annähernd gleiches Gewicht gebracht. Sodann wurden sie je 4, 16 und 28 Stunden dem Einfluß von einprozentiger Schwefelsäure ausgesetzt. Nach jeder der Lösungsperioden wurde die prozentuale Gewichtsabnahme bestimmt, die aus nachstehender Zahlentafel hervorgeht.

Versuchsstelle	Abnahme in %		
	nach 4 Stunden	nach 16 Stunden	nach 28 Stunden
1	0,22	0,81	0,99
2	0,33	1,22	1,59
3	0,24	0,86	1,02
4	0,23	0,72	0,92
5	0,33	1,20	1,65
6	0,23	0,75	0,96
7	0,21	0,65	0,83
8	0,21	0,70	0,92
9	0,24	0,71	0,94
10	0,21	0,68	0,87
11	0,21	0,67	0,84

Zahlentafel 14.

3. Mikroskopische Untersuchung des Gefüges. Der Abschnitt 14 wurde an den den vorhergehenden Proben entsprechenden Stellen untersucht. Zu diesem Zweck wurden den Proben zwei Scheiben entnommen und von jeder der 11 Versuchsstellen 2 Schliffe angefertigt, deren einer der Querrichtung (Bezeichnung E), der andere der Längsrichtung (Bezeichnung F) entsprach. Die geätzten Schliffe wurden in 1450 facher Vergrößerung auf einen Schirm projiziert, auf dem nach Art der Abb. 15 ein Achsensystem aufgezeichnet war. Die Anzahl der von jeder der Achsen geschnittenen Körner wurde abgezählt und ergab somit ein Vergleichsmaß für die Korngröße des Materials. Auf diese Weise wurde jeder Schliff an 5 verschiedenen Stellen nach je 4 Achsen abgezählt. Wenn auch die Einzelresultate gemäß der gewissen Zufälligkeiten ausgesetzten Art der Abzählung manchmal nicht unwesentlich differieren, so ist doch durch die große Zahl derselben — pro Schliff 20 Abzählungen — ein brauchbarer Relativwert gewährleistet. In den Tabellen 15 und 16 sind die gefundenen Mittelwerte der Kornzählungen an den verschiedenen Stellen der Schliffe, die daraus sich ergebenden Enddurchschnitte und die aus der Körnerzahl, der Vergrößerung und dem Projektionskreisdurchmesser errechnete Anzahl von Körnern pro 1 mm eingetragen.

Versuchsstelle	Körnerzahl in der Querrichtung E						
	a	b	c	d	e	Mittel	auf 1 mm
1	20,8	24,0	22,2	21,5	20,8	21,9	35,3
2	27,5	27,3	30,0	29,0	26,8	28,2	45,5
3	27,5	24,8	28,8	26,0	24,2	26,3	42,4
4	20,5	20,2	22,0	20,8	22,2	21,1	34,0
5	27,8	27,0	24,8	25,0	29,2	26,8	43,2
6	20,5	23,8	24,8	20,5	21,2	22,2	35,8
7	13,3	17,8	17,0	17,5	17,3	16,6	26,8
8	14,5	16,5	15,0	16,2	17,0	15,9	25,7
9	22,0	19,0	21,2	17,5	19,2	19,3	31,2
10	16,5	15,8	17,0	18,0	17,8	17,0	27,4
11	17,0	16,8	15,2	17,3	15,0	16,3	26,3

Zahlentafel 15.

Abb. 15 von Schliff A_5 und Abb. 16 von Schliff A_8 zeigen in 190 facher Vergrößerung den augenfälligen Unterschied der Korngröße der im vorliegenden Fall auftretenden Maxima und Minima.

Versuchsstelle	Körnerzahl in der Längsrichtung F						
	a	b	c	d	e	Mittel	auf 1 mm
1	21,8	22,5	22,2	22,2	21,0	21,9	35,3
2	30,2	30,2	28,8	31,0	29,8	30,0	48,4
3	26,0	31,3	33,0	32,8	24,8	29,6	47,7
4	23,0	22,0	22,8	23,0	21,8	22,5	36,3
5	24,0	27,8	25,7	23,2	27,5	25,6	41,3
6	24,5	28,2	28,5	24,2	24,8	26,1	42,1
7	15,2	18,0	18,5	17,5	14,8	16,8	27,1
8	19,0	18,7	16,5	16,5	16,0	17,3	27,9
9	21,0	22,0	19,7	20,8	20,5	20,8	33,6
10	18,5	18,2	16,3	19,3	17,0	17,8	28,7
11	18,0	19,5	17,2	18,5	19,3	18,5	29,9

Zahlentafel 16.

In einer Arbeit von Dr.-Ing. Oberhoffer, Breslau „Über den Einfluß des Schmiedens auf die Materialeigenschaften des Eisens“ ist ge-

zeigt worden, daß mit zunehmender Bearbeitungstemperatur die Härte und Löslichkeit abnimmt, die Korngröße zunimmt. Einige Versuche über den Einfluß der Größe

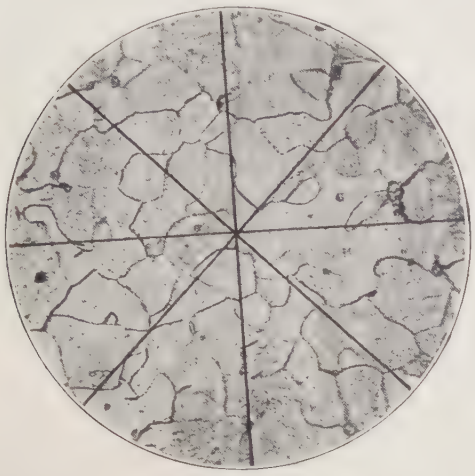


Abb. 15.

der Bearbeitung, die allerdings nur orientierender Natur waren, zeigten, wie aus der angeführten Arbeit hervorgeht, daß wahrscheinlich die Größe der Bearbeitung auf die erwähnten Eigenschaften des Materials in umgekehrtem Sinne wirkt.

Nun sind in Abb. 17 die Resultate der drei Untersuchungsmethoden in Kurven veranschaulicht, die eine relativ gute Übereinstimmung aufweisen. Diese können als Beweis für die Richtigkeit der Annahme gelten, daß durch die erfolgte Bearbeitung die obengenannten drei Eigenschaften des Materials im versuchten Sinn beeinflußt werden. Tatsächlich zeigen sie alle deutlich einen prinzipiellen Unterschied der Stellen 1 bis 6 gegenüber 7 bis 11 entsprechend der stärkeren Bearbeitung in der gedrückten Zone des Blocks im Gegensatz zur nichtgedrückten. Ferner liegen bei

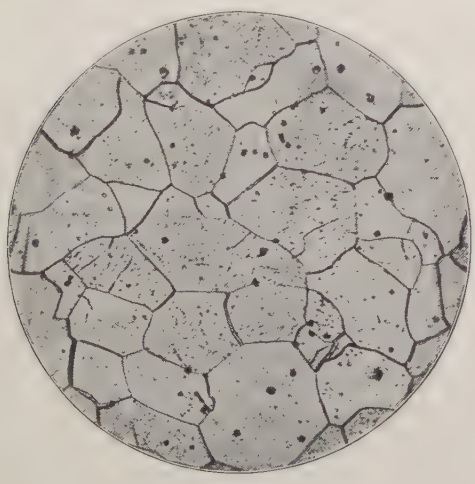


Abb. 16.

allen Kurven an den Punkten 2 und 5 Maxima, während 7 stets ein Minimum aufweist, in dessen Nähe meist 8 liegt. Es kann darin eine Bestätigung unserer Anschauung vom maximal gedrückten Teil im Steg und dem mitgerissenen Teil im Flansch erblickt werden. Besonders hingewiesen sei auf die Aufschlüsse, welche die Kurven E und F der Kornzahlen zu geben scheinen, diese zeigen in den meisten Punkten geringe Differenzen, wobei F, von einer Ausnahme abgesehen, stets über E liegt. Bei den

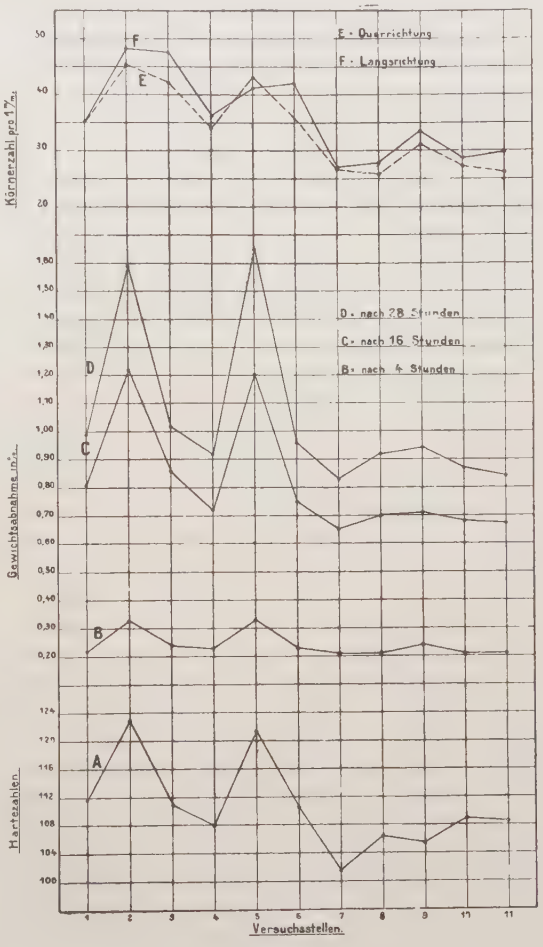


Abb. 17.

Punkten 3, 6 und 11 jedoch differieren sie auffallend stark. Es legt dies die Vermutung nahe, daß einerseits die Bearbeitung in der Längsrichtung in allen Teilen größer ist als in der Querrichtung und daß ferner ein Unterschied besteht in der Bearbeitung und somit dem Walzvorgange im offenen und geschlossenen Teil des Kalibers, derart, daß im offenen Flansch das Material mehr zu längen bestrebt ist als im geschlossenen. Es liegt auch sehr wohl im Bereich der Vorstellungsmöglichkeit, daß die mahlende Wirkung der verschiedenen Walzen angehörigen Ränder eine stärkere

Längung des Materials begünstigt. Von den seitlichen Randproben scheint 9 am meisten bearbeitet zu sein, was auf eine stärkere seitliche Bearbeitung im geschlossenen Flanschteil, in den das Material hineingepreßt wird, hinweist.

Dabei ist nicht außer acht zu lassen, daß die Verschiedenheit der Temperatur auf die Härtezahl wie die Anzahl der Körner von Einfluß ist, und zwar in der Weise, daß oberhalb des Haltepunktes A_3 mit steigender Bearbeitungstemperatur die Korngröße zunimmt und die Härtezahl sinkt. Da nun das Material im Innern des Querschnitts naturgemäß heißer ist als an den Randteilen, müßten im vorliegenden Fall die Maxima und Minima unter Ausschaltung des sie verschleiernden Temperatureinflusses noch augenfälliger in Erscheinung treten. Im Fall des untersuchten Riegels 14, der zwecks Abkühlung auf 1050° liegen geblieben war, spielen die Temperaturunterschiede zwischen innen und außen eine entsprechend größere Rolle. Auch wird die durch die verschiedene Bearbeitung hervorgerufene unterschiedliche Temperaturerhöhung das Bild etwas trüben.

Nicht unerwähnt möge bleiben, daß eine Analysierung des Materials an den der Untersuchung zu Grunde gelegten Versuchsstellen 1—11 folgende Resultate ergab:

Versuchsstelle	C	Mn	Si	P	S
1	0,06	0,34	0,03	0,06	0,04
2	0,06	0,34	0,03	0,09	0,10
3	0,06	0,35	0,03	0,06	0,06
4	0,06	0,34	0,03	0,04	0,05
5	0,06	0,34	0,03	0,08	0,09
6	0,06	0,35	0,03	0,05	0,05
7	0,06	0,34	0,03	0,04	0,04
8	0,06	0,34	0,03	0,04	0,04
9	0,06	0,34	0,03	0,05	0,05
10	0,06	0,34	0,03	0,04	0,04
11	0,06	0,34	0,03	0,04	0,05

Zahlentafel 17.

Das Material weist demnach Unterschiede im P-Gehalt und S-Gehalt auf. Diese dürften auf Saigerungen zurückzuführen sein.

Eine Steigerung des P-Gehalts bewirkt bekanntlich eine Zunahme der Härte. Wie aus einer Arbeit von d'Amico über den Einfluß des Phosphors auf die Eigenschaften des Flußeisens (Ferrum 1913 Seite 289) hervorgeht, hat eine Steigerung des P-Gehalts um 0,1 % im Mittel eine Erhöhung der Härtezahl um 12,5 Einheiten zur Folge. Da nach den Ergebnissen der chemischen Untersuchung der größte Unterschied in dem P-Gehalt 0,05 %, der größte Härteunterschied dagegen 21,5 Einheiten beträgt, so geht daraus einwandfrei hervor, daß die Steigerung der Härte durch den P-Gehalt allein nicht hervorgerufen sein kann; denn der Differenz von 0,05 % Phosphor würde eine Härtesteigerung von nur 6 Einheiten entsprechen. Weiter betragen die Unterschiede im S-Gehalt maximal 0,06 %. Über den Einfluß des Schwefels auf die Härte liegen leider keine Versuchsergebnisse vor, doch kann mit Sicherheit angenommen werden, daß die durch Schwefel hervorgerufene Härtesteigerung keine große ist, sonst wäre wie bei P, C, Mn und Si etwas darüber bekannt. Jedenfalls darf es hiernach als feststehend betrachtet werden, daß die Härteunterschiede nicht allein auf die Saigerungen zurückzuführen sind, sondern von der Größe der Bearbeitung im obigen Sinne bedingt werden.

Über den Einfluß des P und S auf die Löslichkeit ist nichts bekannt. Ebensowenig über den Einfluß des Schwefels auf die Korngröße.

Dagegen bewirkt die Zunahme des P-Gehalts eine enorme Steigerung der Korngröße. Da jedoch letztere an den Versuchsstellen mit dem größten P-Gehalt am kleinsten ist (vergleiche die Zahlentafeln 15, 16 und 17), so werden die aus der Kornzählung gezogenen Schlüsse durch die Phosphorsaigerungen nicht berührt.

Es dürfte somit erwiesen sein, daß die im Versuchsquerschnitt auftretenden Saigerungen die Resultate zwar nach verschiedenen Richtungen beeinflussen, daß jedoch hierdurch die aus der guten Übereinstimmung der drei Untersuchungsmethoden gezogenen Schlüsse ihre Berechtigung keineswegs verlieren.

Die vorliegende Untersuchung eines einzigen Abschnittes kann natürlich nicht zur Ableitung zwingender Schlußfolgerungen von allgemeiner Gültigkeit berechtigen. Zu diesem Zweck müßten systematisch eine größere Anzahl von Einzeluntersuchungen durchgeführt werden, die jedoch als außerhalb des Rahmens dieser Arbeit befindlich, späteren Arbeiten vorbehalten bleiben müssen.

Jedenfalls aber dürfte damit bewiesen sein, daß mit Hilfe der Materialuntersuchung, vor allem mittels der Untersuchung des Materialgefüges auf seine Korngröße, recht interessante Aufklärungen über die Vorgänge beim Walzen im Material gewonnen werden können.

Vorstehende Ausführungen verfolgen daher in erster Linie den Zweck, anzuregen, daß, möglichst ausgehend von einfacheren Fällen als denen der $\overline{I}$-Kalibrierung Versuche nach Art der oben angegebenen systematisch durchgeführt werden. Damit dürfte nach Ansicht des Verfassers mancher Fortschritt in unserer

bis heute noch recht mangelhaften Erkenntnis der Materialvorgänge beim Walzen zu erzielen sein.

VII. Zusammenfassung.

Die von W. Tafel aufgestellte Längungs- und Füllungstheorie für irreguläre Profile wird als prinzipiell richtig erkannt, insofern, als sie das Wesen des Walzvorganges bei solchen Profilen zutreffend charakterisiert. Die daraus abgeleiteten Formeln werden bezüglich der Berücksichtigung der Breitung abgeändert und ihre Anwendung durch Präsisierung des Einziehungseinflusses modifiziert. An Hand zahlreicher Beispiele wird die gute praktische Verwendbarkeit der abgeänderten Formeln für die Berechnung des ersten profilierten Stiches bei Trägerkalibrierungen nachgewiesen und die auftretenden geringen Differenzen zwischen den effektiven und den theoretisch errechneten Werten durch die außerhalb der Theorie liegenden Faktoren und Störungen zu erklären versucht. Bei den späteren profilierten Stichen ergeben die Formeln Resultate von geringerer Übereinstimmung mit den Werten des praktischen Versuchs. Auch hierfür werden die Gründe dargelegt und ferner nachgewiesen, daß eine Berechnung der Füllung bei diesen nicht die Bedeutung hat, wie bei dem ersten Stich. Schließlich wird gezeigt, inwiefern die Materialuntersuchung berufen erscheint, zur weiteren Klärung des Walzvorganges herangezogen zu werden.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem Vorstand des Eisenhüttenmännischen Instituts der Kgl. Techn. Hochschule in Breslau, Herrn Professor Simmersbach, für die Anregung zur vorliegenden Arbeit, sowie für das Entgegenkommen, mit dem er mir die Einrichtungen des dortigen metallographischen Laboratoriums zur Verfügung stellte, meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Besonderen Dank schulde ich ferner der Verwaltung der Friedenshütte O.-S., insbesondere Herrn Generaldirektor Boecker, für die überaus anerkennenswerte Bereitwilligkeit, mit der mir die Erlaubnis zur Durchführung der Versuche an den dortigen Walzenstraßen erteilt wurde, sowie den Herren vom Betrieb für ihre entgegenkommende Unterstützung bei denselben.

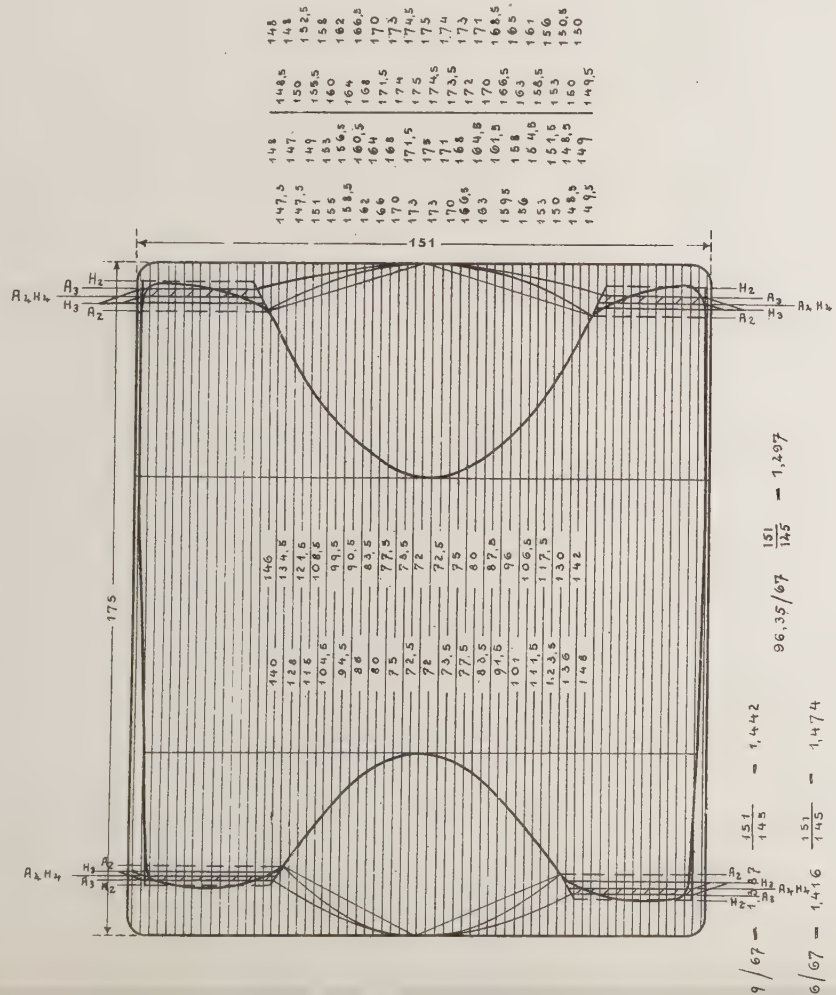
Lebenslauf.

Am 29. Mai 1886 in Nürnberg als der Sohn des damaligen Fabrikbesitzers H. Tafel geboren, besuchte ich das dortige Realgymnasium, welches ich im Jahre 1905 absolvierte. Im gleichen Jahre bezog ich die Technische Hochschule in München, um im Jahre 1907 an die Technische Hochschule Aachen überzusiedeln, wo ich im Dezember 1910 das Diplom-Examen ablegte. Von Anfang des Jahres 1911 bis Oktober des Jahres 1912 war ich am Eisenhüttenmännischen Institut der Technischen Hochschule Breslau erstlich bei Herrn Professor O. Simmersbach und dann bei Herrn Dr.-Ing. J. Puppe als Assistent für Walzwerkskunde tätig. Seit Januar 1913 bin ich Assistent im Walzwerk in Baildonhütte und Betriebsleiter der dortigen Zieherei.

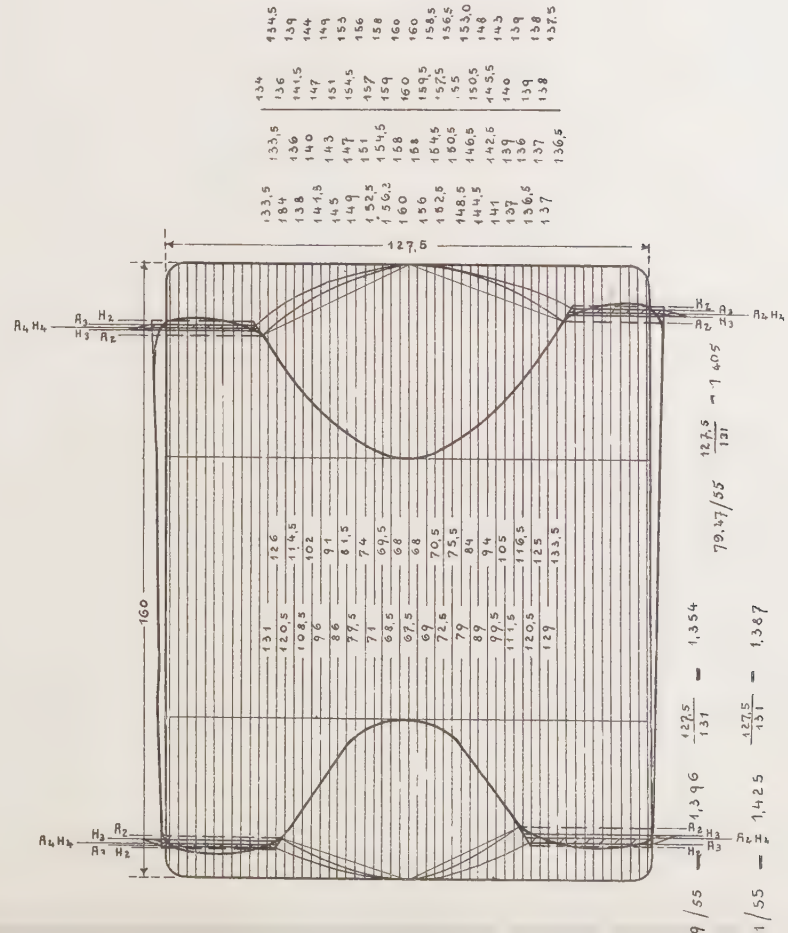
Anhang:

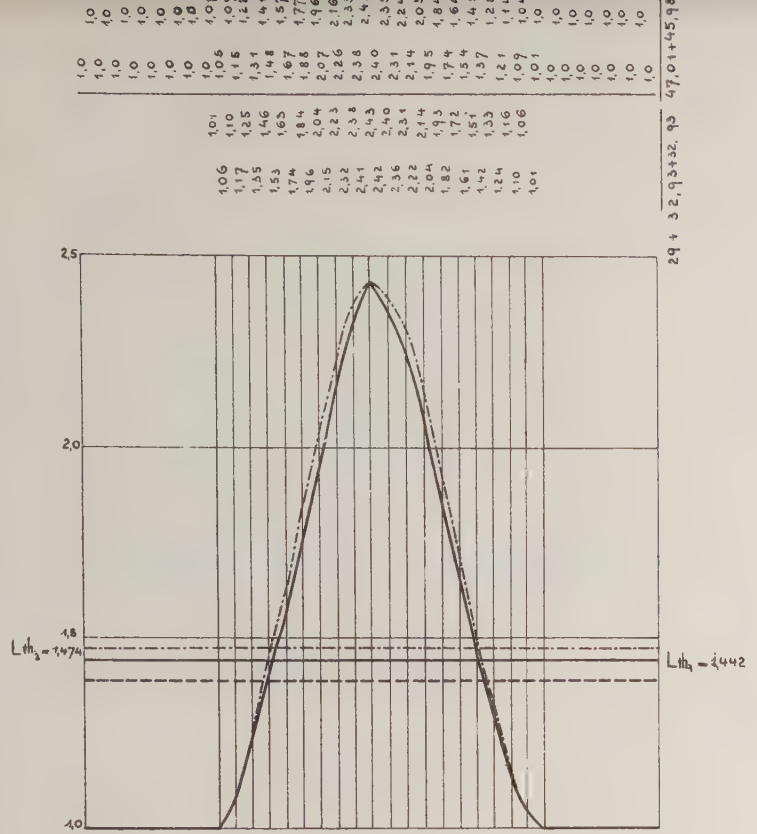
Tafel 1-20

$L_{eff.} = 1,411$	$L_{theor.1} = 1,442$	$L_{theor.3} = 1,297$
$L_{plan} = \frac{26404}{18020} = 1,465$	$L_{theor.2} = 1,474$	$L_{theor.4} = 1,482$

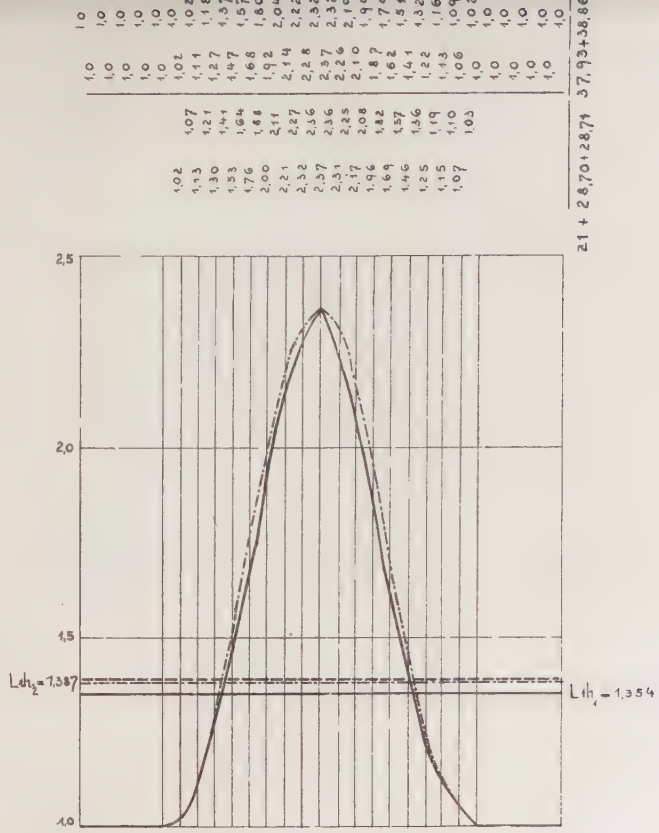


$L_{eff} = 1,312$	$L_{theor.1} = 1,354$	$L_{theor.3} = 1,405$
$L_{plan} = \frac{20379}{14720} = 1,383$	$L_{theor.2} = 1,387$	$L_{theor.4} = 1,395$





№ 1



№ 2

Tafel 1

$$= 71,09/53 = 1,341 \cdot \frac{129}{131,0} = 1,320$$

$$= 72,57/53 = 1,369 \cdot \frac{129}{131} = 1,348$$

$$73,75/53 = 1,301 \cdot \frac{129}{131} = 1,369$$

$L_{eff} = 1,276$ | $L_{theor_1} = 1,320$ | $L_{theor_3} = 1,369$

$L_{plan} = \frac{19527}{14690} = 1,342$ | $L_{theor_2} = 1,348$ | $L_{theor_4} = 1,359$

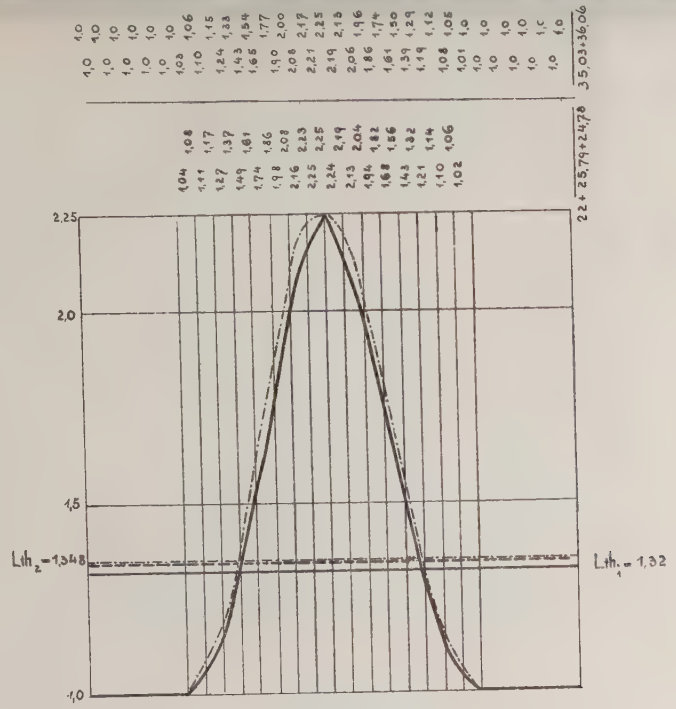
$$= 70,09/53 = 1,322 \cdot \frac{129}{131,0} = 1,30$$

$$= 71,38/53 = 1,347 \cdot \frac{129}{131} = 1,326$$

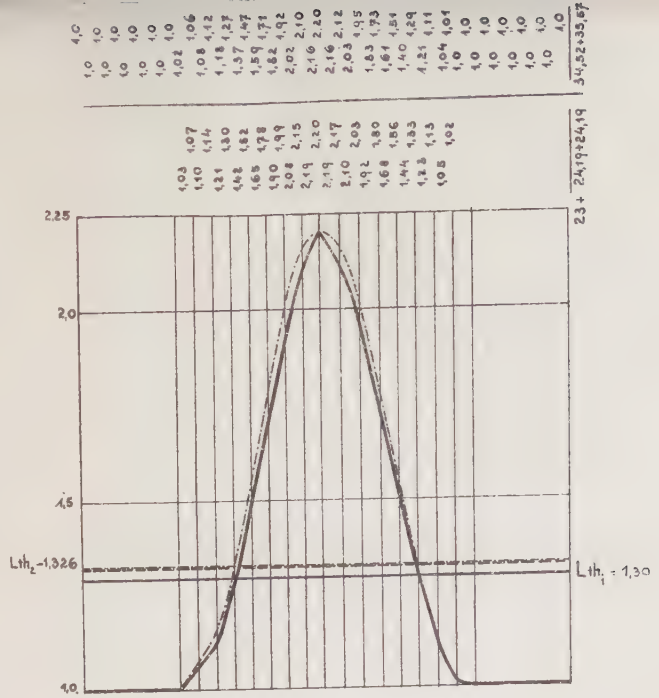
$$72,36/53 = 1,365 \cdot \frac{129}{131} = 1,344$$

$L_{eff} = 1,257$ | $L_{theor_1} = 1,30$ | $L_{theor_3} = 1,324$

$L_{plan} = \frac{19071}{14480} = 1,317$ | $L_{theor_2} = 1,326$ | $L_{theor_4} = 1,335$


2,25
2,0
1,5
1,0
Lth$_2$=1,348
Lth$_1$=1,32
22+25,79+24,78
35,03+36,06

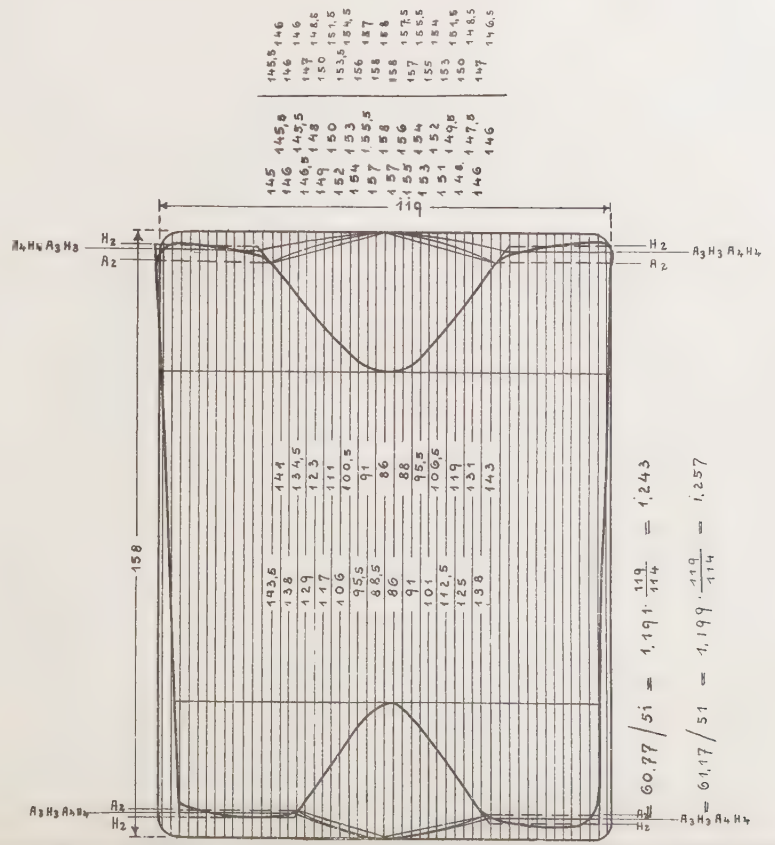
№ 3


2,25
2,0
1,5
1,0
Lth$_2$=1,326
Lth$_1$=1,30
23+24,19+24,19
34,52+35,67

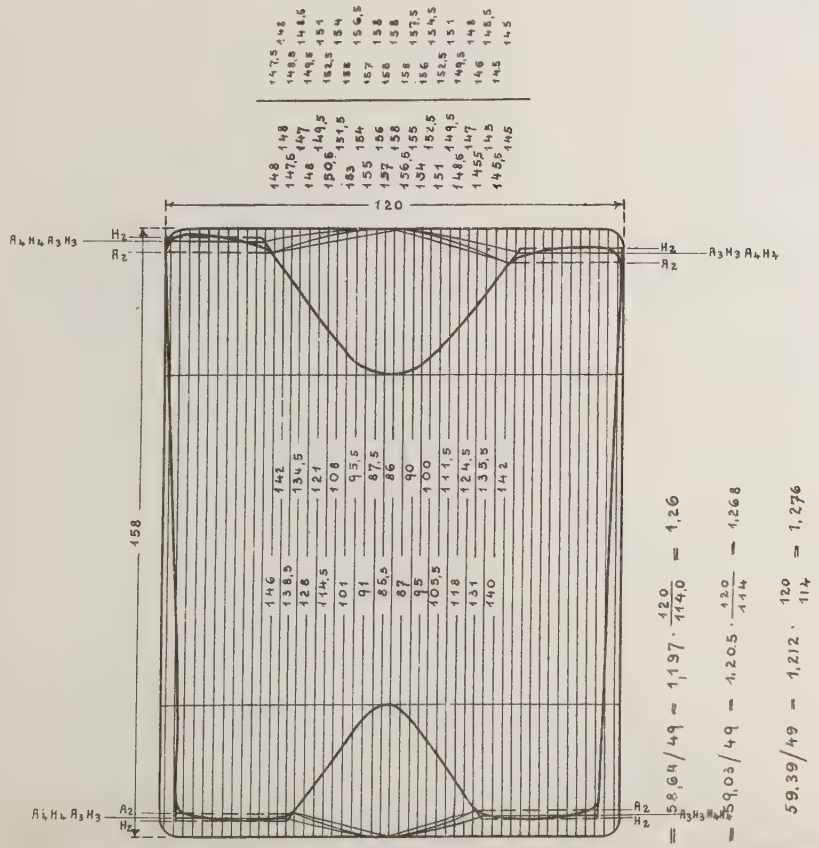
№ 4.

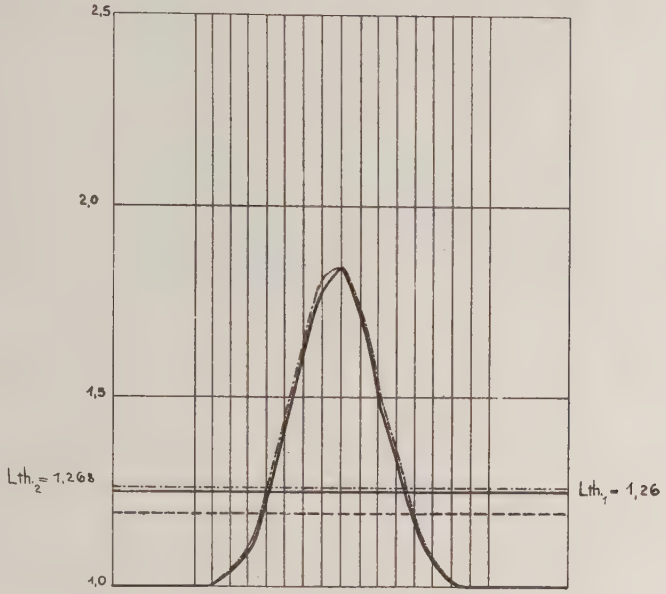
Tafel 2

L eff. – 1,231	L theor.$_1$ = 1,243	L theor.$_3$ = 1,261
L plan = $\frac{18781}{14900}$ = 1,260	L theor.$_2$ = 1,251	L theor.$_4$ = 1,261

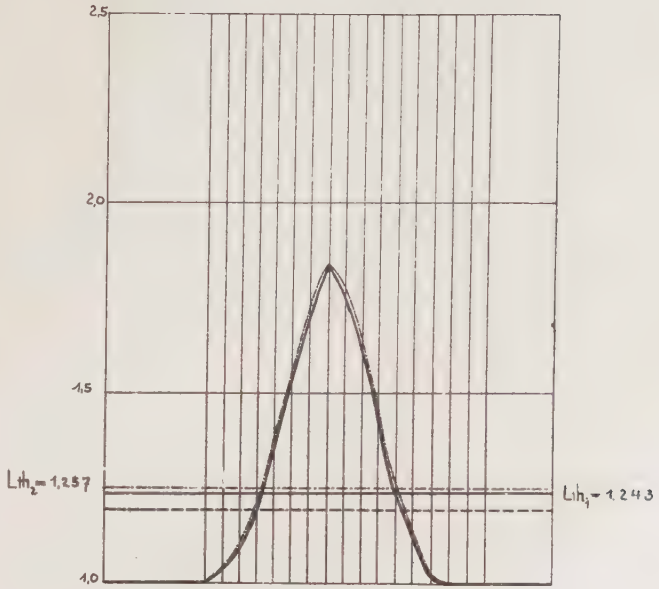


L eff. – 1,238	L theor.$_1$ = 1,26	L theor.$_3$ = 1,276
L plan = $\frac{18939}{14860}$ = 1,273	L theor.$_2$ = 1,268	L theor.$_4$ = 1,276





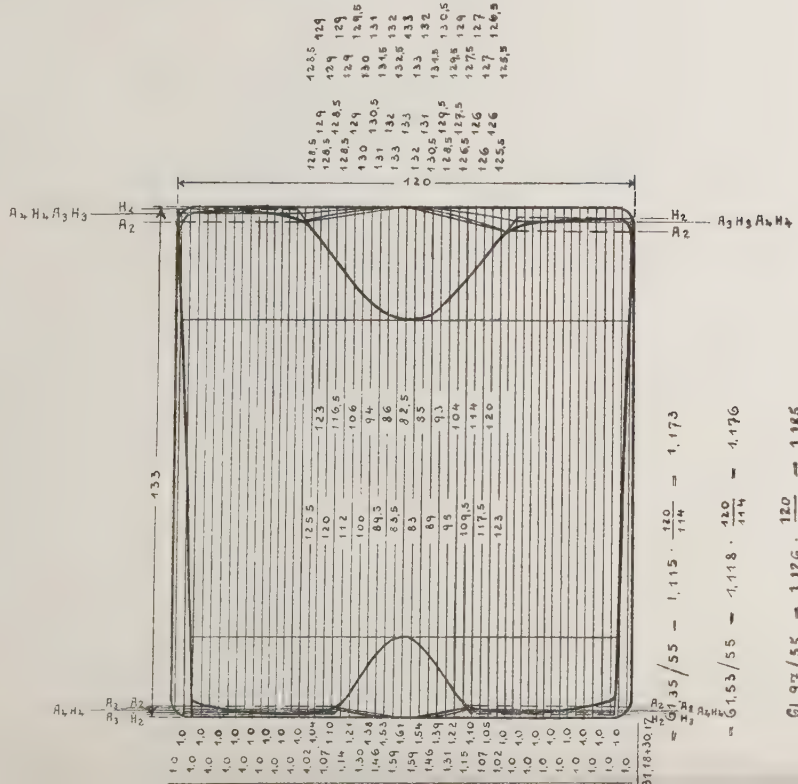
№ 5



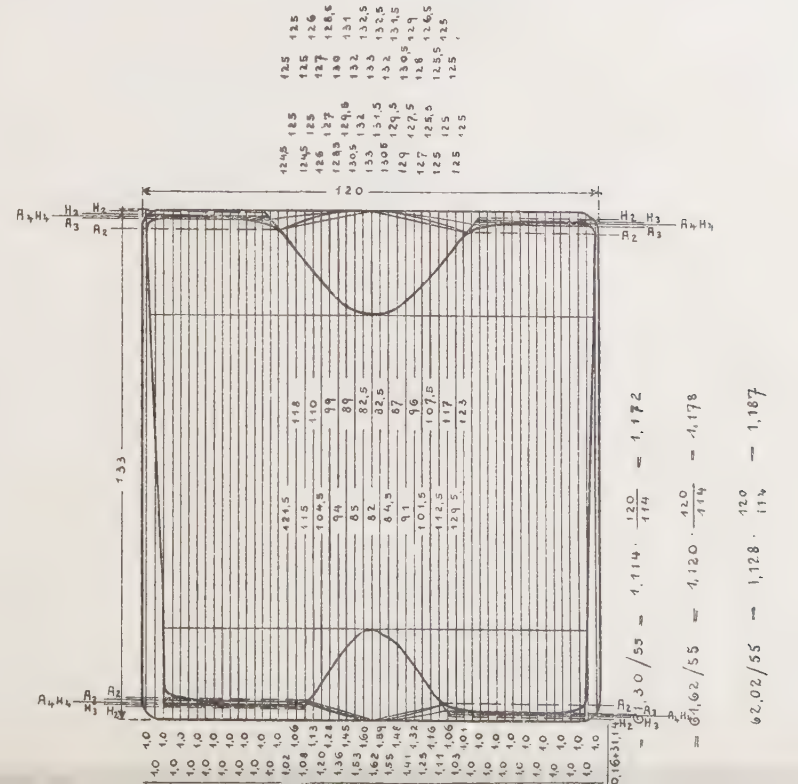
№ 6

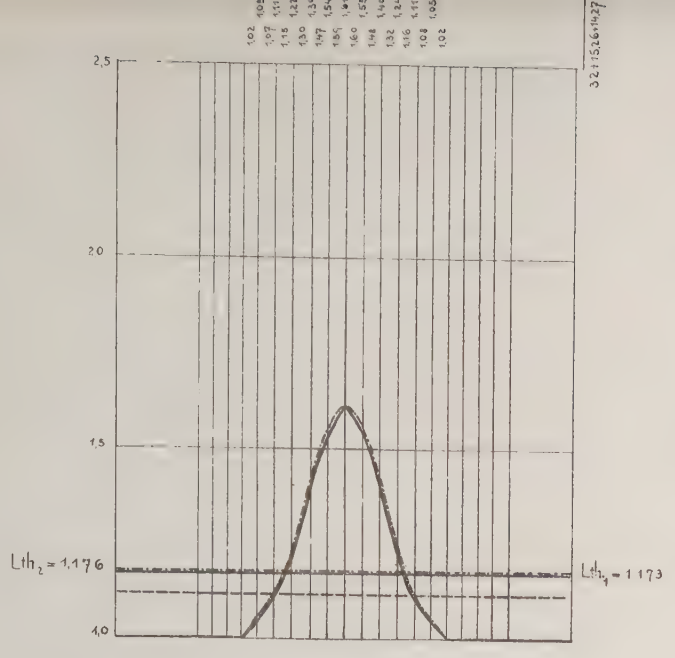
Tafel 3

L eff. = 1.144	L theor.$_1$ = 1.173	L theor.$_3$ = 1.185
L plan = $\frac{15939}{13300}$ = 1.189	L theor.$_2$ = 1.176	L theor.$_4$ = 1.188

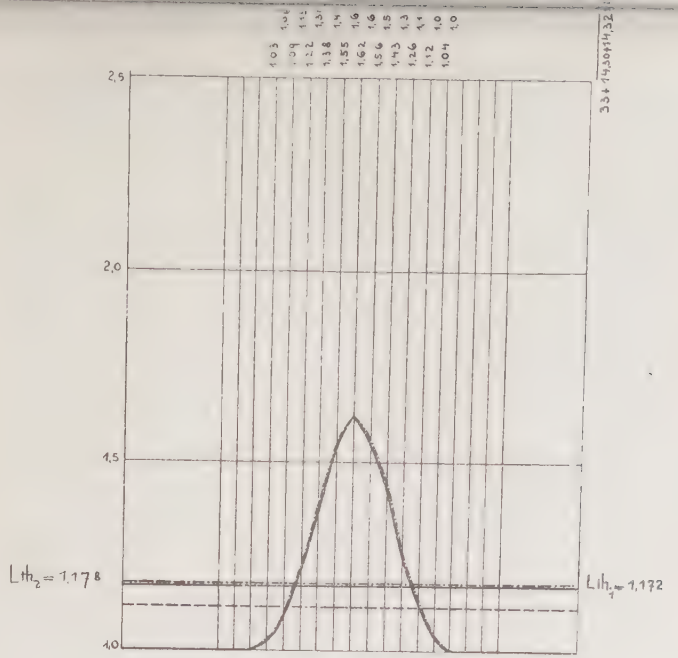


L eff. = 1,142	L theor.$_1$ = 1,172	L theor.$_3$ = 1,187
L plan = $\frac{15939}{13300}$ = 1,198	L theor.$_2$ = 1,178	L theor.$_4$ = 1,193





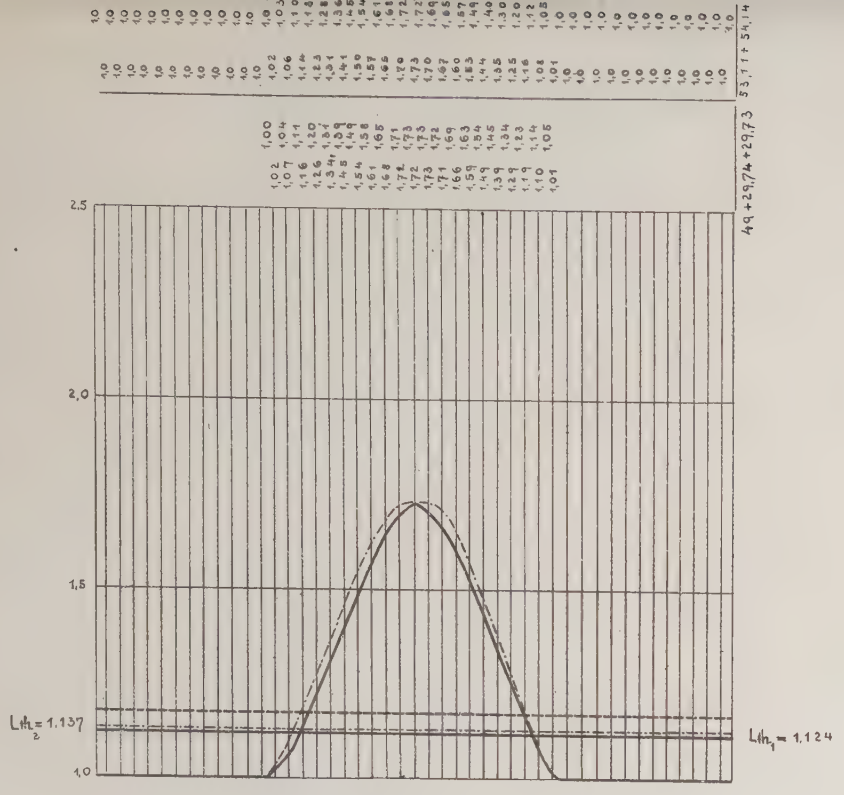
N°7



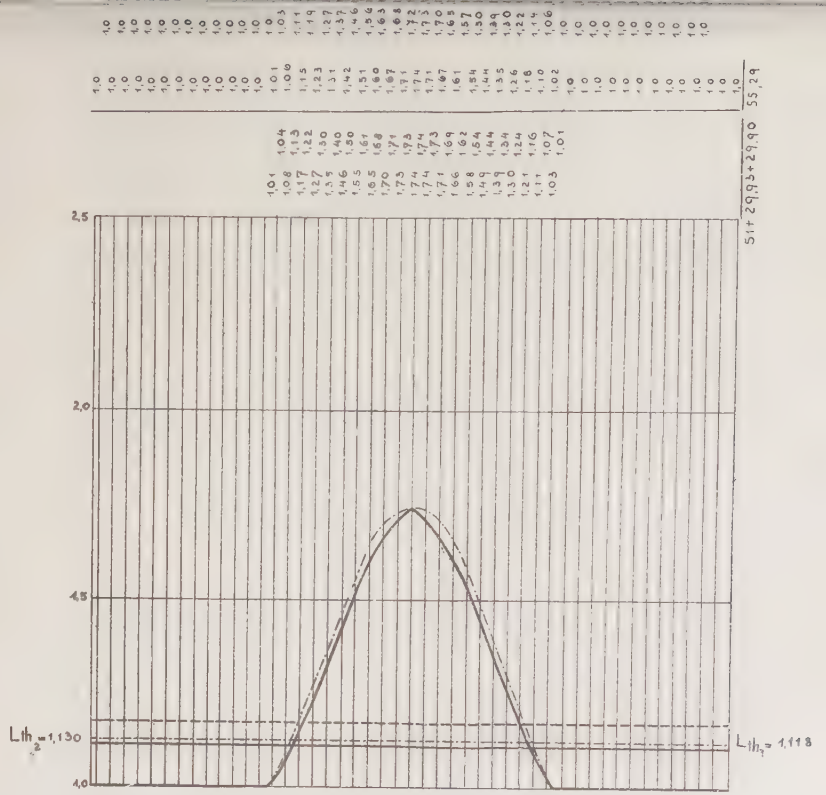
N° 8

Tafel 4

168
218
168
218



N° 9



N° 10

Tafel 5

$$L_{eff.} = 1.125 \quad | \quad L_{theor.1} = 1.130 \quad | \quad L_{theor.3} = 1.154$$

$$L_{plan} = \frac{363220}{315570} = 1.150 \quad | \quad L_{theor.2} = 1.144 \quad | \quad L_{theor.4} = 1.150$$

$$L_{eff.} = 1.121 \quad | \quad L_{theor.1} = 1.114 \quad | \quad L_{theor.3} = 1.138$$

$$L_{plan} = \frac{359236}{315550} = 1.139 \quad | \quad L_{theor.2} = 1.128 \quad | \quad L_{theor.4} = 1.158$$

$$94,33/79 = 1,194 \cdot \frac{167}{176,5} = 1.130$$

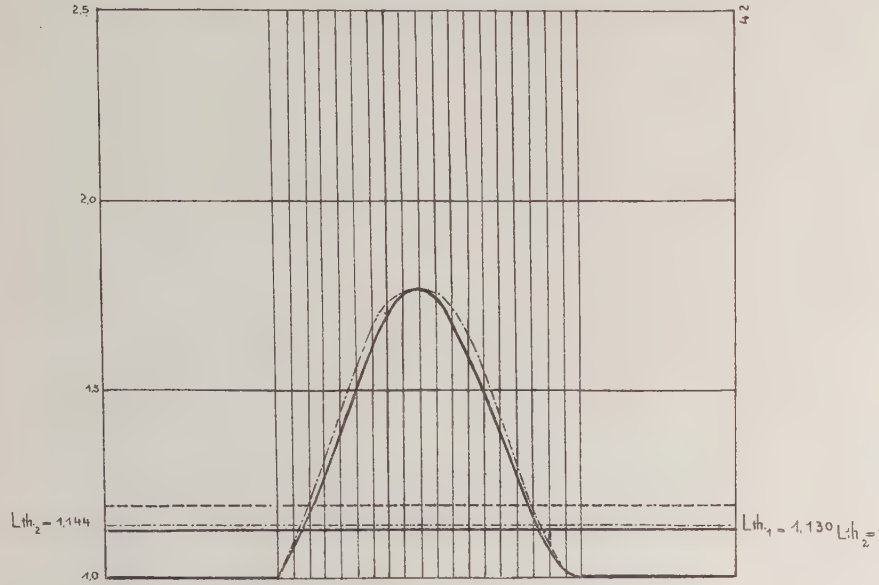
$$96,38/79 \cdot \frac{167}{176,5} = 1.154$$

$$95,57/79 = 1209 \cdot \frac{167}{176,5} = 1.144$$

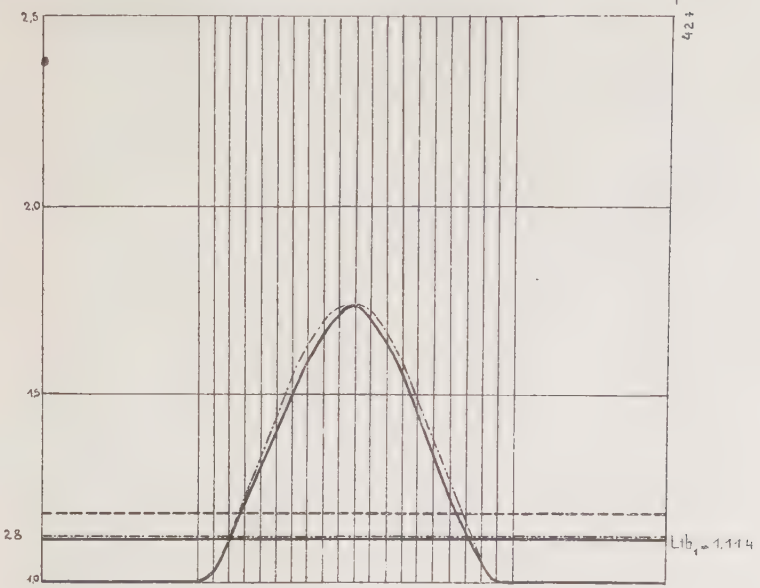
$$43,62/79 = 1.185 \cdot \frac{166}{176,5} = 1.114$$

$$95,66/79 \quad \frac{166}{176,5} = 1.138$$

$$94,76/79 = 1199 \quad \frac{166}{176,5} = 1.128$$


2,5
2,0
1,5
1,0
Lth₂ = 1,144
Lth₁ = 1,130
42 + 26,27 + 27,24
46,69 + 47,64

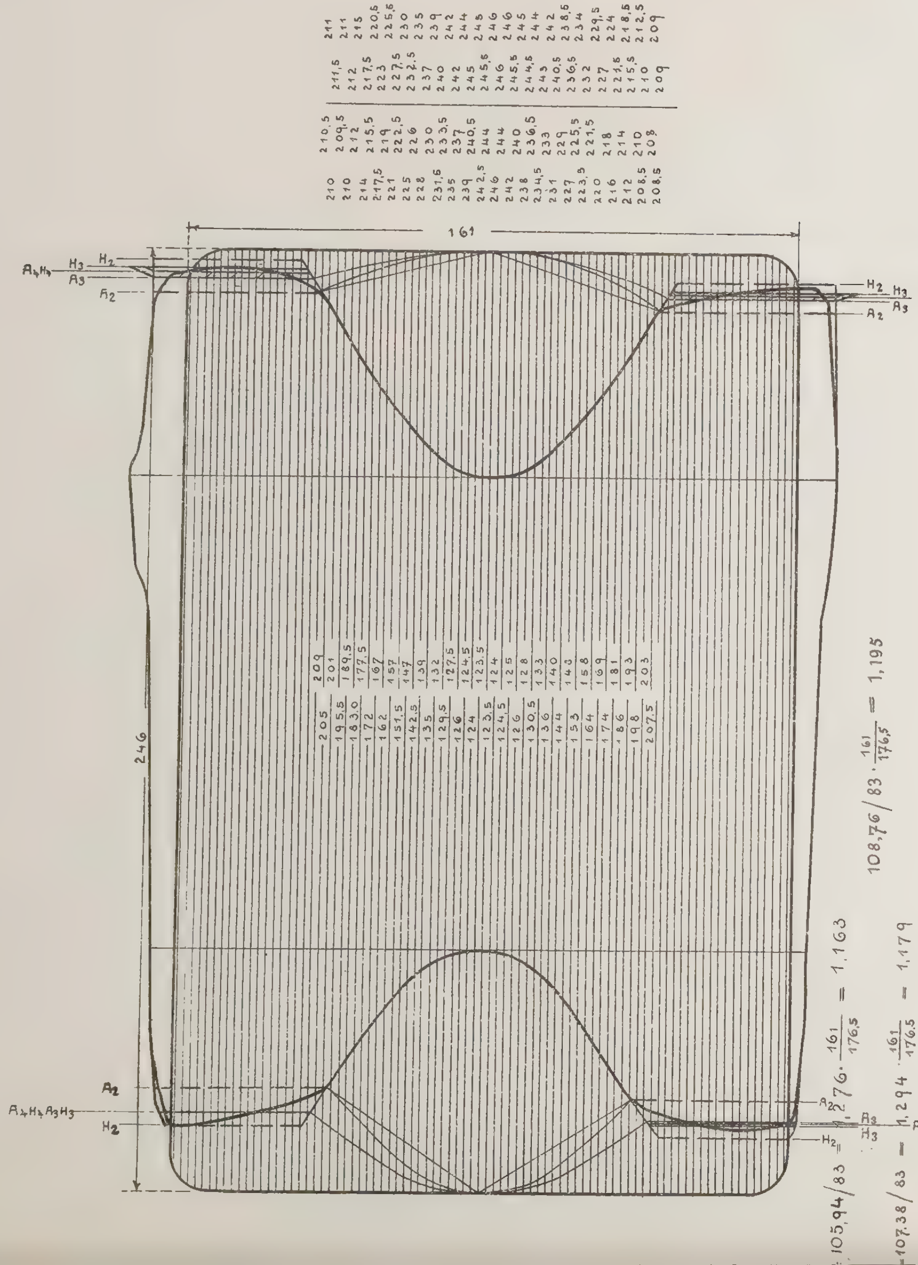
№ 11


2,5
2,0
1,5
1,0
Lth₂ = 1,128
Lth₁ = 1,114
42 + 26,86 + 25,84
46,33 + 47,29

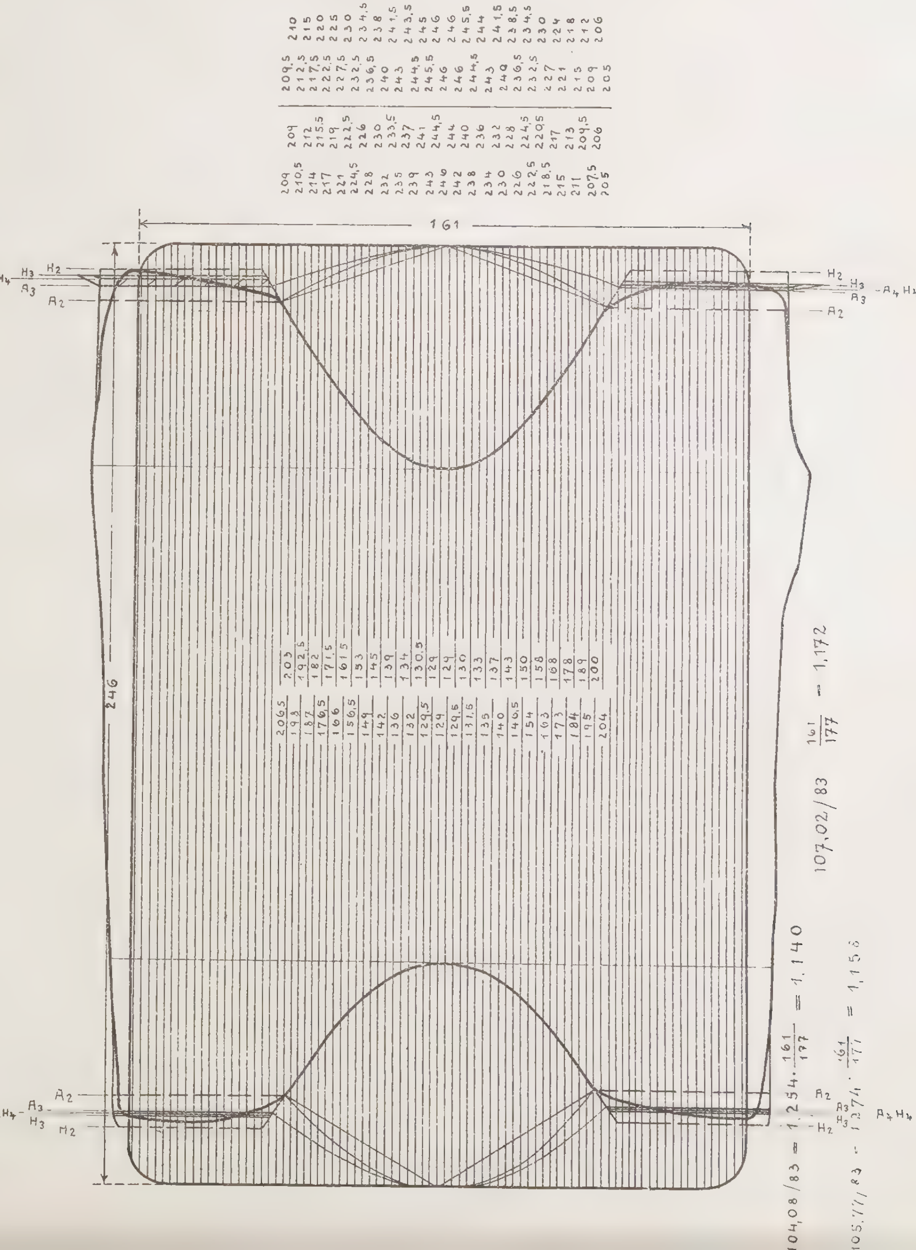
№ 12

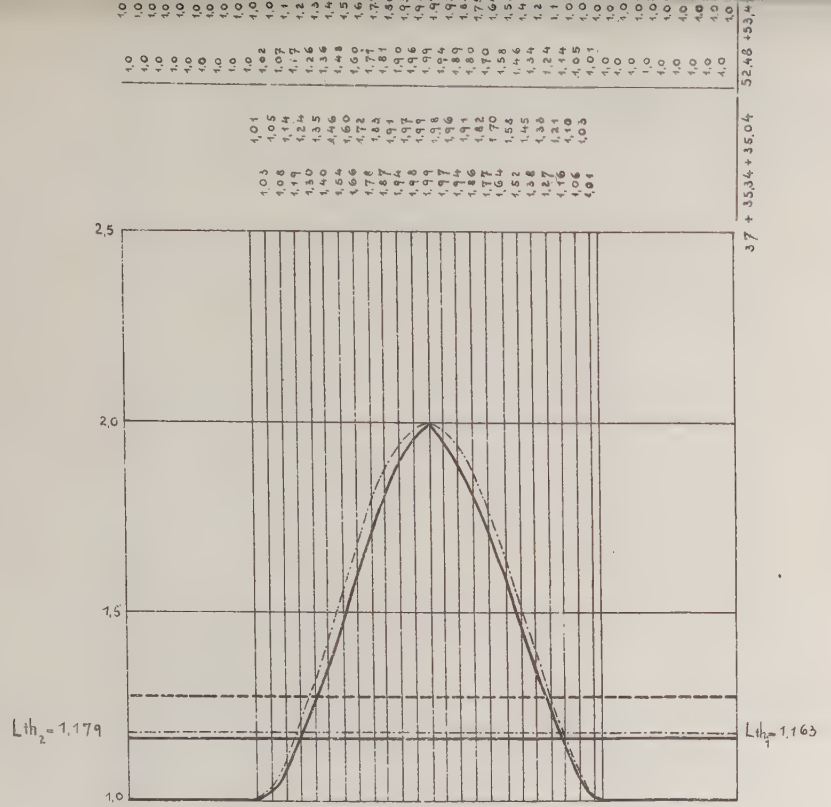
Tafel 6

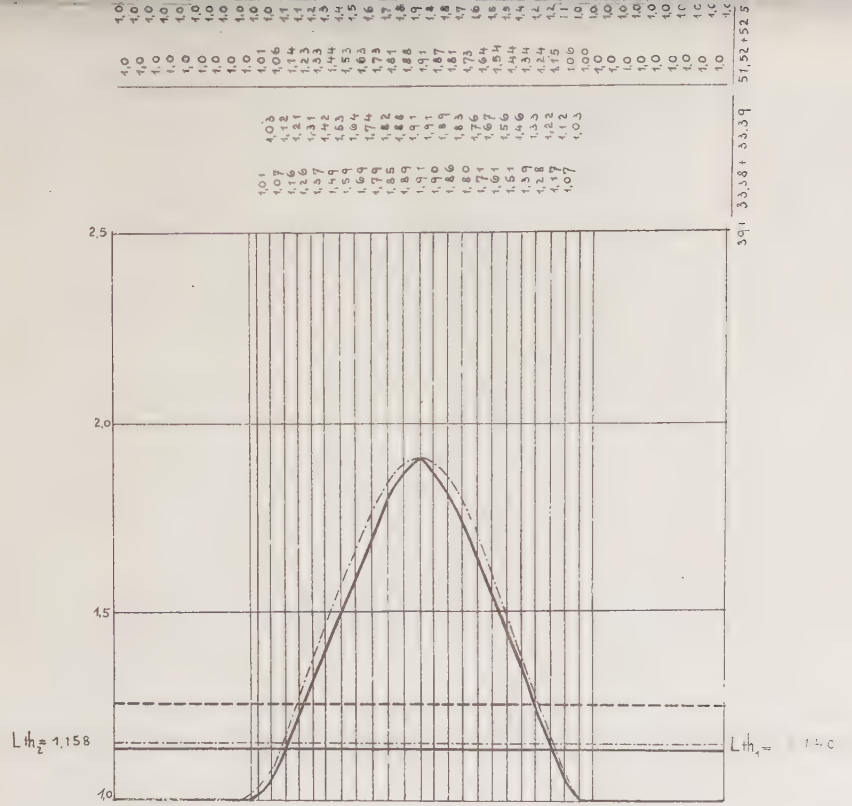
L eff. = 1,177	L theor.$_1$ = 1,163	L theor.$_3$ = 1,195
L plan = $\frac{39520}{32880}$ = 1,202	L theor.$_2$ = 1,179	L theor.$_4$ = 1,197



L eff = 1,159	L theor.$_1$ = 1,140	L theor.$_3$ = 1,172
L plan = $\frac{39520}{33480}$ = 1,180	L theor.$_2$ = 1,158	L theor.$_4$ = 1,174







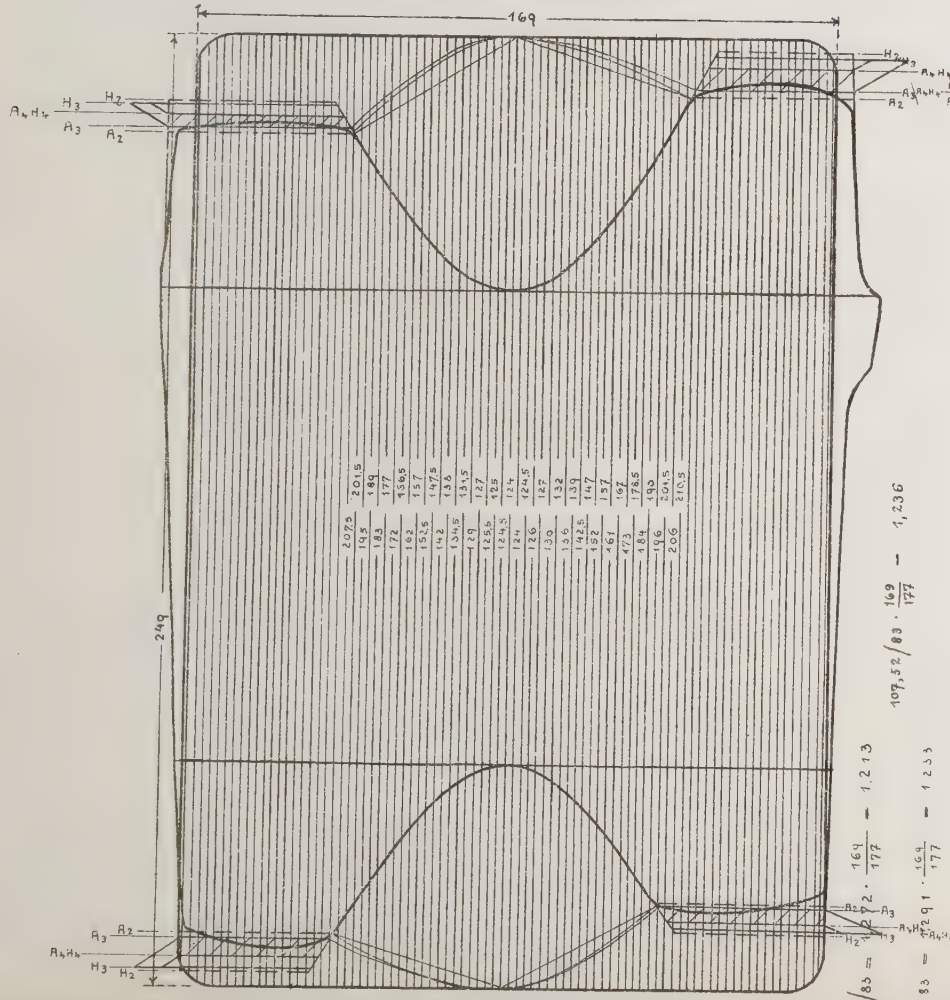
Nº13

Tafel 7

Nº 14

L eff. = 1,232 | L theor.$_1$ = 1,213 | L theor.$_3$ = 1,236

L plan. = $\frac{41995}{32840}$ = 1,279 | L theor.$_2$ = 1,233 | L theor.$_4$ = 1,250



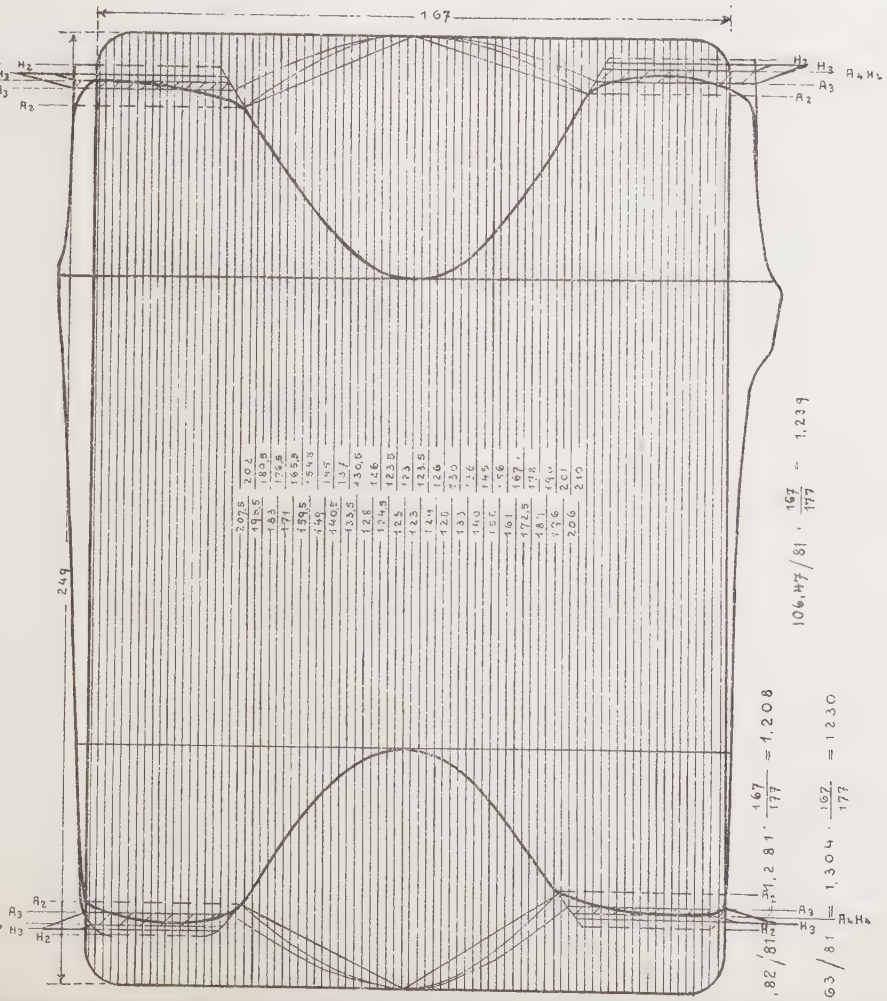
$107,52/83 \cdot \frac{169}{177} = 1,236$

$59/83 = 0,712 \cdot \frac{164}{177} = 1,213$

$110/83 = 1,291 \cdot \frac{169}{177} = 1,233$

L eff. = 1,217 | L theor.$_1$ = 1,208 | L theor.$_3$ = 1,239

L plan. = $\frac{41497}{32850}$ = 1,263 | L theor.$_2$ = 1,230 | L theor.$_4$ = 1,247

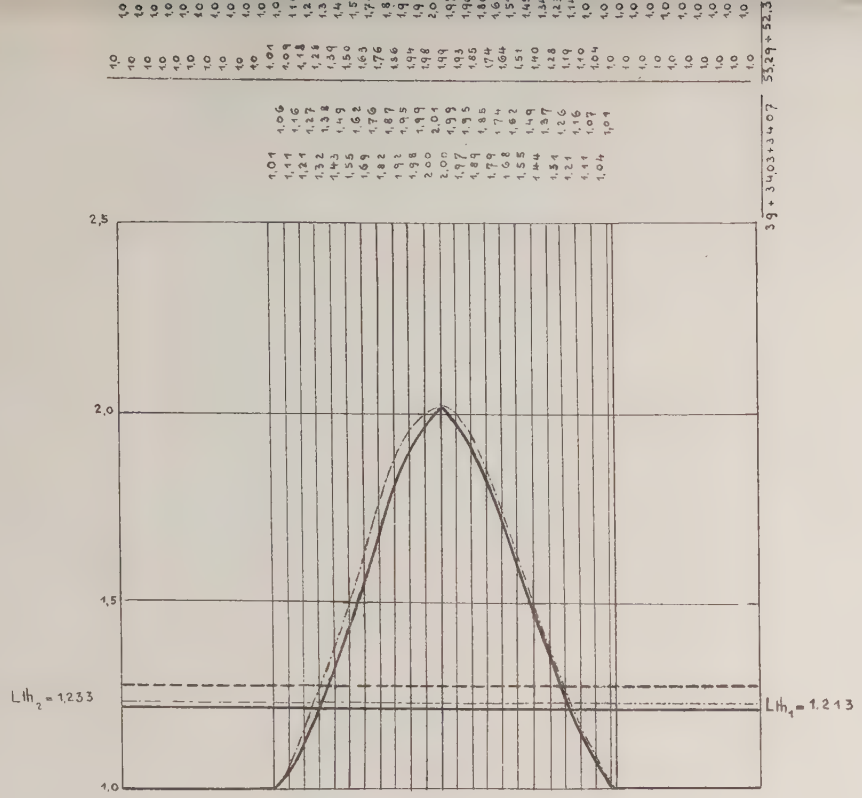


$106,47/81 \cdot \frac{167}{177} = 1,239$

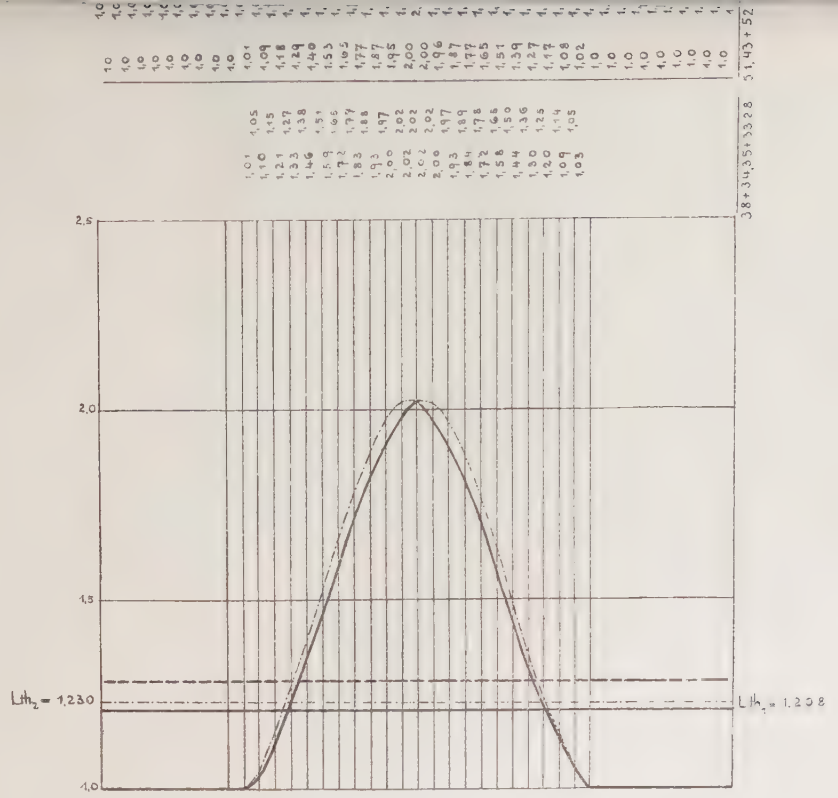
$103,82/81 \cdot \frac{167}{177} = 1,208$

$1,304 \cdot \frac{167}{177} = 1230$

$105,63/81$



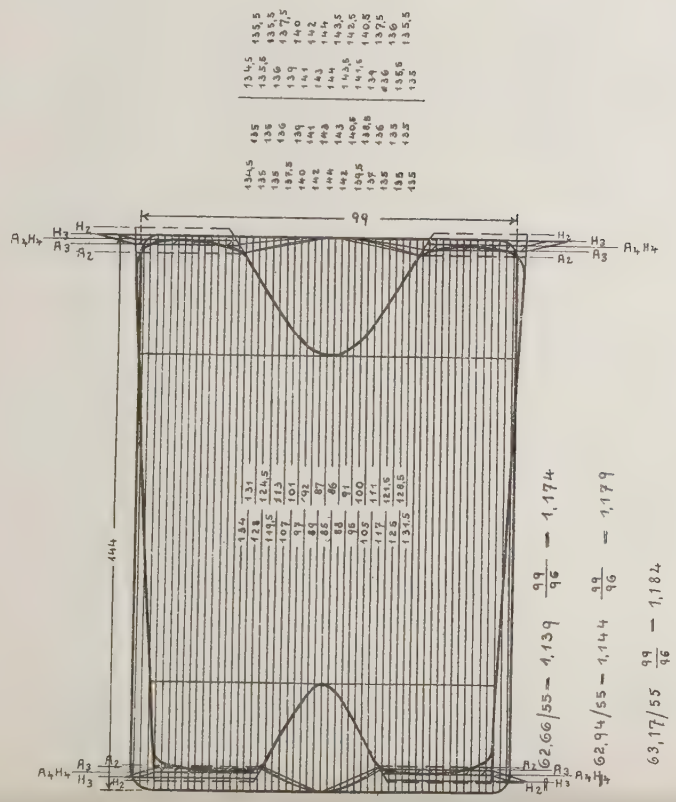
№ 15



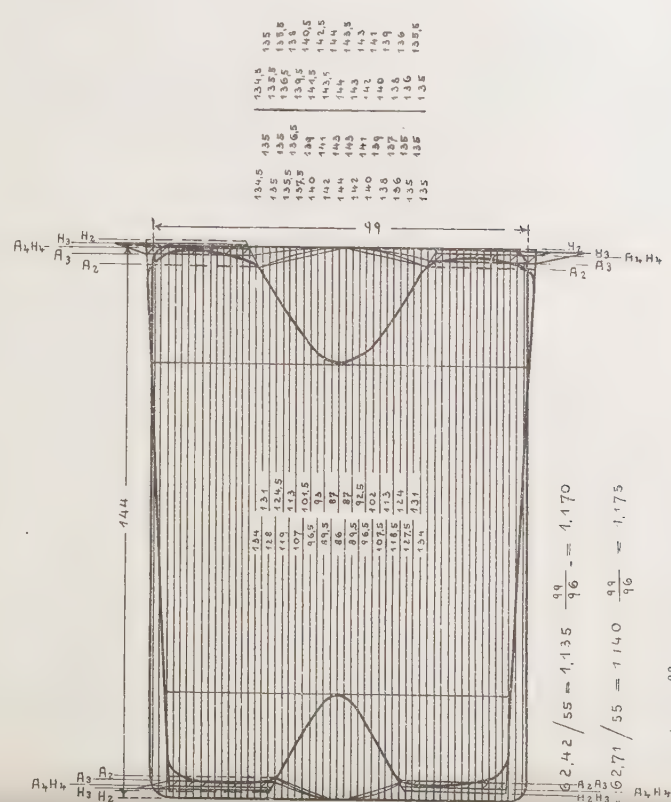
№ 16

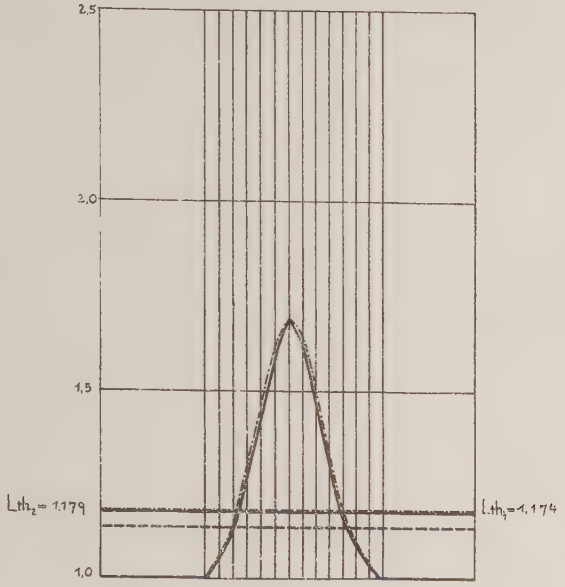
Tafel 8

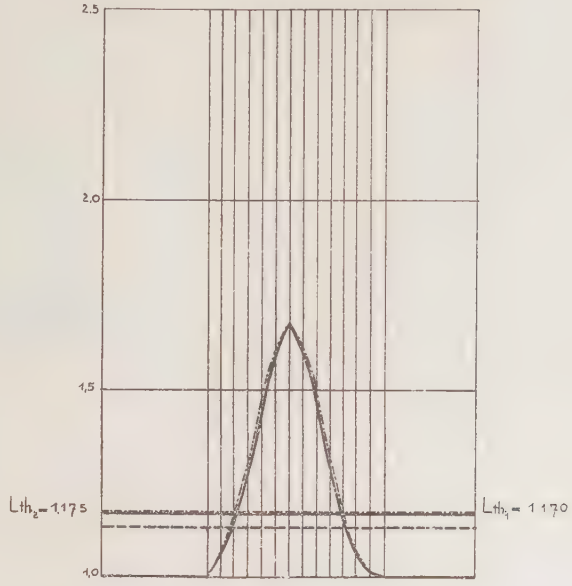
L eff. =	1,166	L theor.$_1$ =	1,174	L theor.$_3$ =	1,184
L plan = $\frac{14236}{11746}$ =	1,212	L theor.$_2$ =	1,179	L theor.$_4$ =	1,199



L eff. =	1,164	L theor.$_1$ =	1,170	L theor.$_3$ =	1,180
L plan. = $\frac{14235}{11770}$ =	1,209	L theor.$_2$ =	1,175	L theor.$_4$ =	1,187





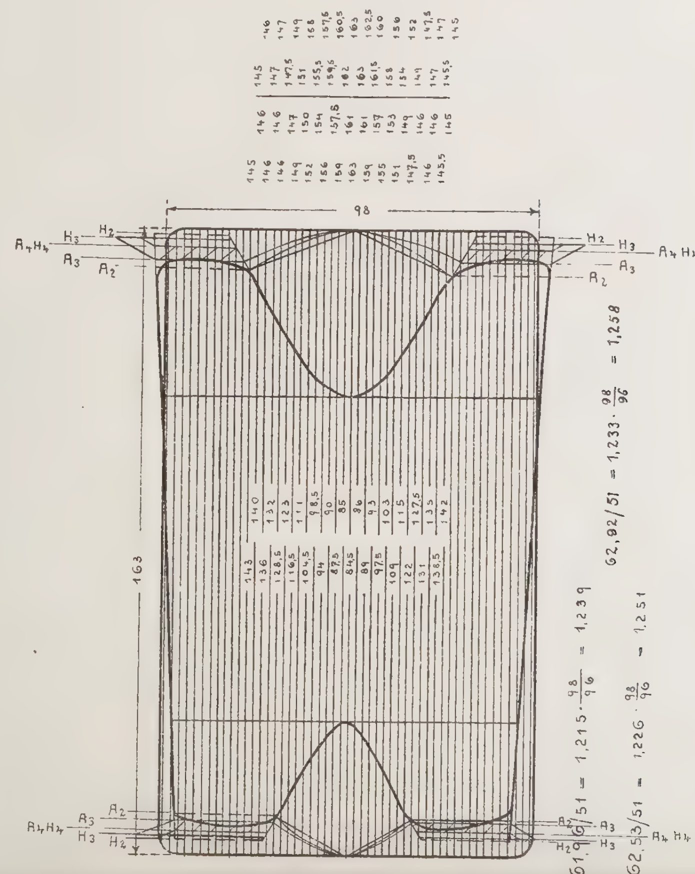


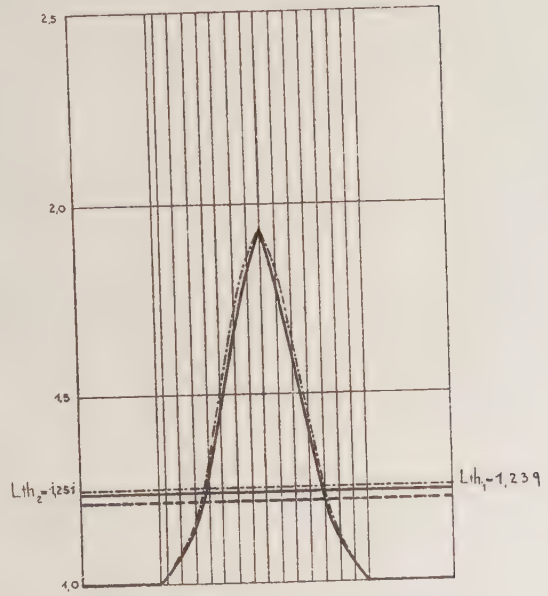
Nº 17

Tafel 9

Nº 18

L eff. = 1,268	L theor.$_1$ = 1,239	L theor.$_3$ = 1,258
L plan = $\frac{15974}{12220}$ = 1,307	L theor.$_2$ = 1,251.	L theor.$_4$ = 1,277

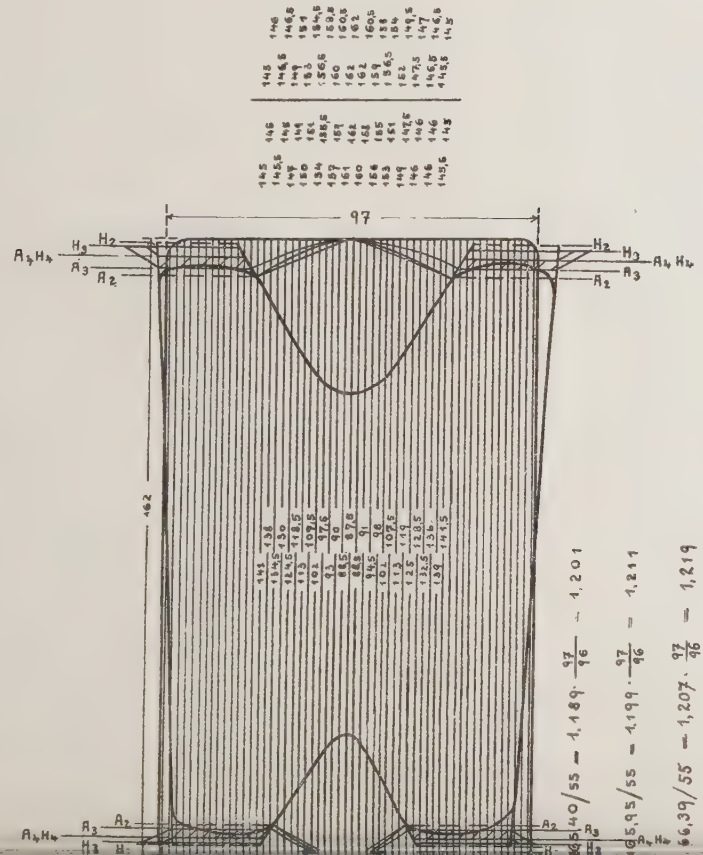




№ 19

Tafel 10

$L_{eff.} = 1{,}240$	$L_{theor.1} = 1{,}201$	$L_{theor.3} = 1{,}219$
$L_{plan} = \frac{15693}{12420} = 1{,}263$	$L_{theor.2} = 1{,}211$	$L_{theor.4} = 1{,}239$

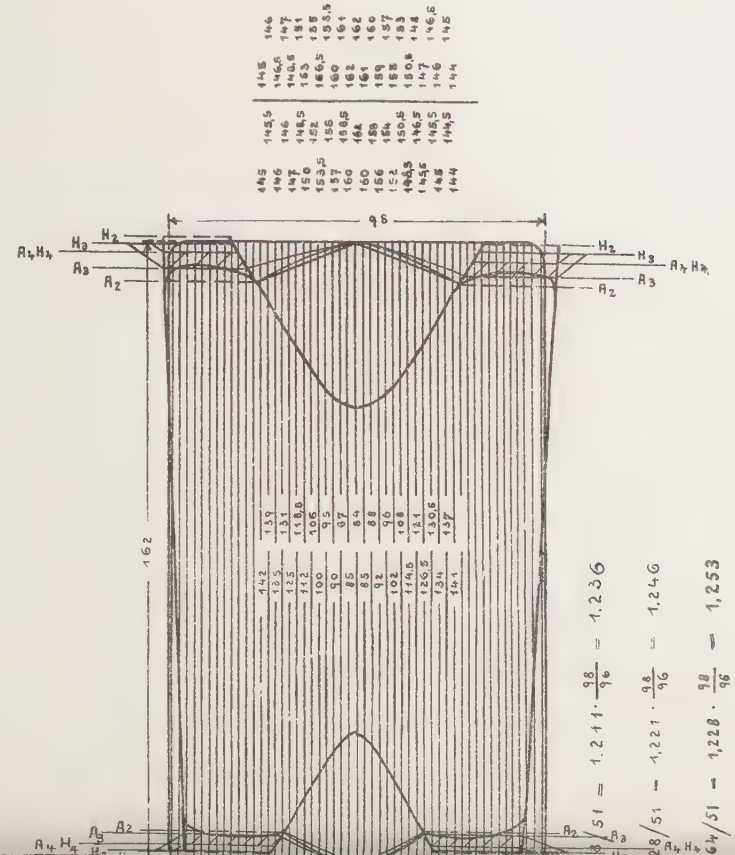


$\frac{5140}{55} = 1{,}189 \cdot \frac{97}{96} = 1{,}201$

$\frac{5295}{55} = 1{,}199 \cdot \frac{97}{96} = 1{,}211$

$\frac{6639}{55} = 1{,}207 \cdot \frac{97}{96} = 1{,}219$

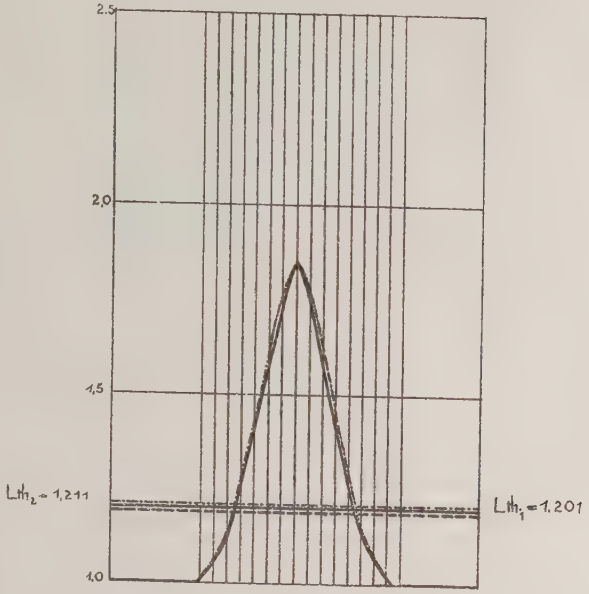
$L_{eff.} = 1{,}262$	$L_{theor.1} = 1{,}236$	$L_{theor.3} = 1{,}253$
$L_{plan} = \frac{15857}{12130} = 1{,}307$	$L_{theor.2} = 1{,}246$	$L_{theor.4} = 1{,}271$



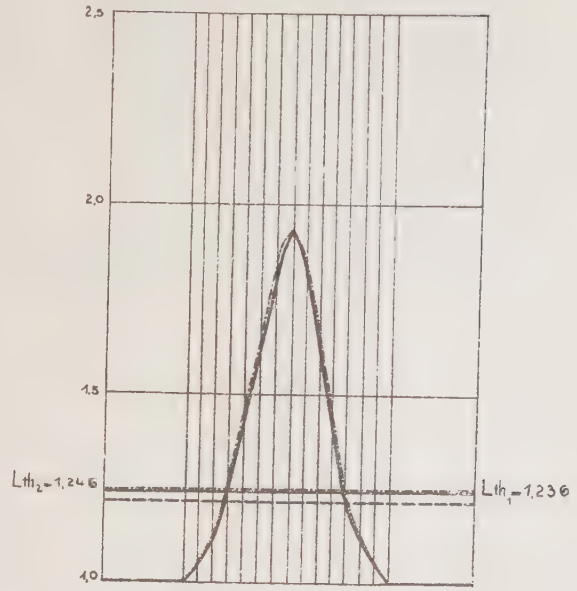
$\frac{5151}{51} = 1{,}211 \cdot \frac{98}{96} = 1{,}236$

$\frac{5328}{51} = 1{,}221 \cdot \frac{98}{96} = 1{,}246$

$\frac{6764}{51} = 1{,}228 \cdot \frac{98}{96} = 1{,}253$



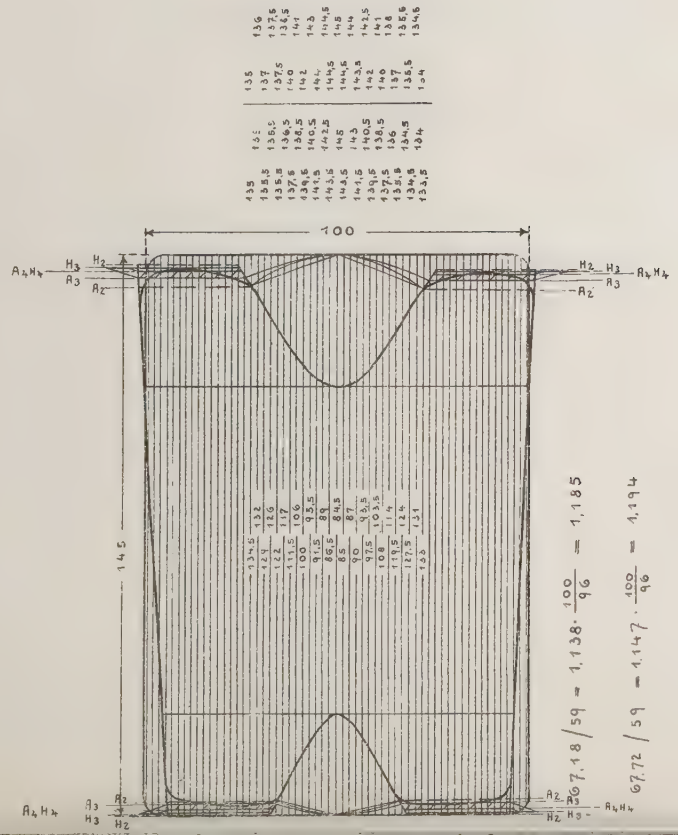
N° 20



N° 21

Tafel 11

$L_{eff.} =$	1,179	$L_{theor.1} =$	1,185	$L_{theor.3} =$	1,200
$L_{plan} = \frac{14479}{11840} =$	1,223	$L_{theor.2} =$	1,194	$L_{theor.4} =$	1,204

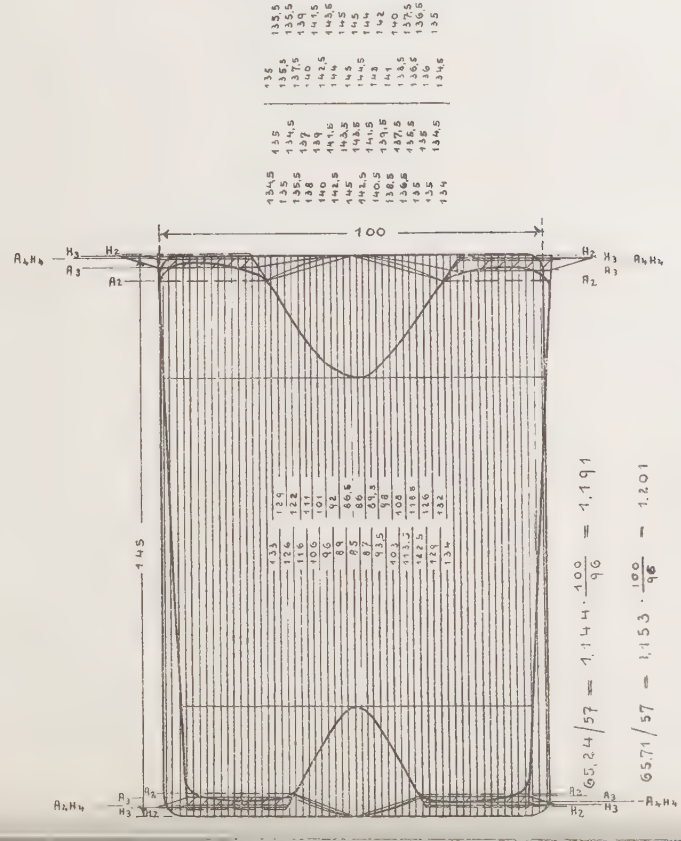


$67,18/59 = 1,138 \cdot \frac{100}{96} = 1,185$

$67,72/59 = 1,147 \cdot \frac{100}{96} = 1,194$

$67,95/59 = 1,152 \cdot \frac{100}{96} = 1,200$

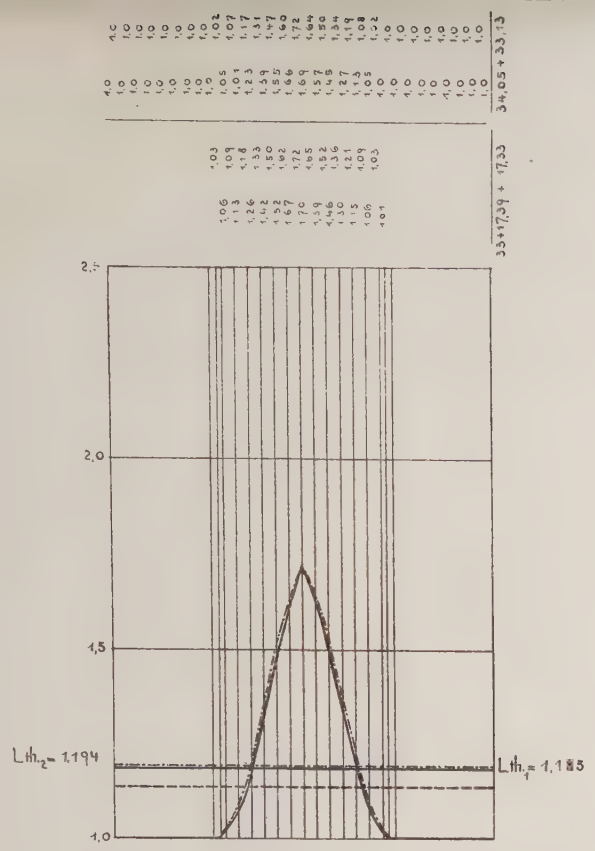
$L_{eff.} =$	1,183	$L_{theor.1} =$	1,191	$L_{theor.3} =$	1,206
$L_{plan} = \frac{14479}{11730} =$	1,234	$L_{theor.2} =$	1,201	$L_{theor.4} =$	1,207



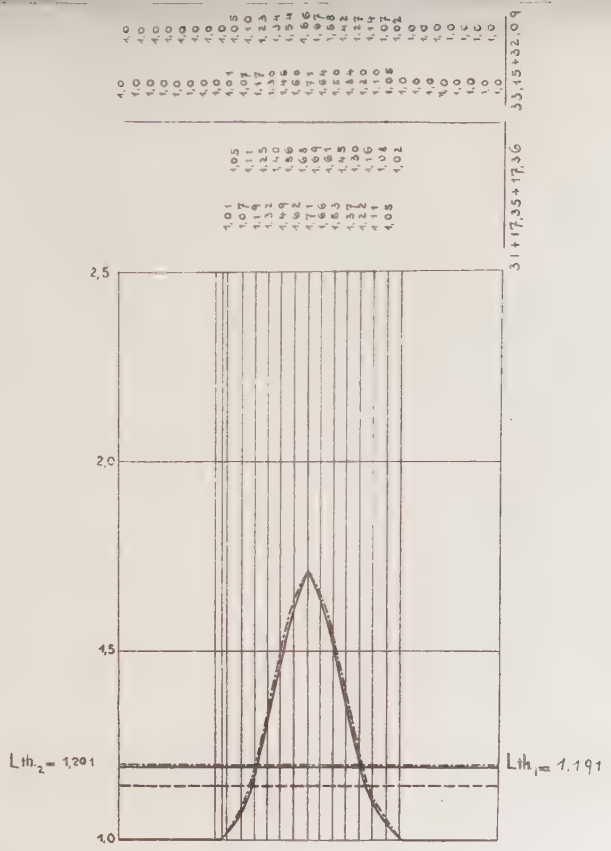
$65,24/57 = 1,144 \cdot \frac{100}{96} = 1,191$

$65,71/57 = 1,153 \cdot \frac{100}{96} = 1,201$

$66,03/57 = 1,158 \cdot \frac{100}{96} = 1,206$



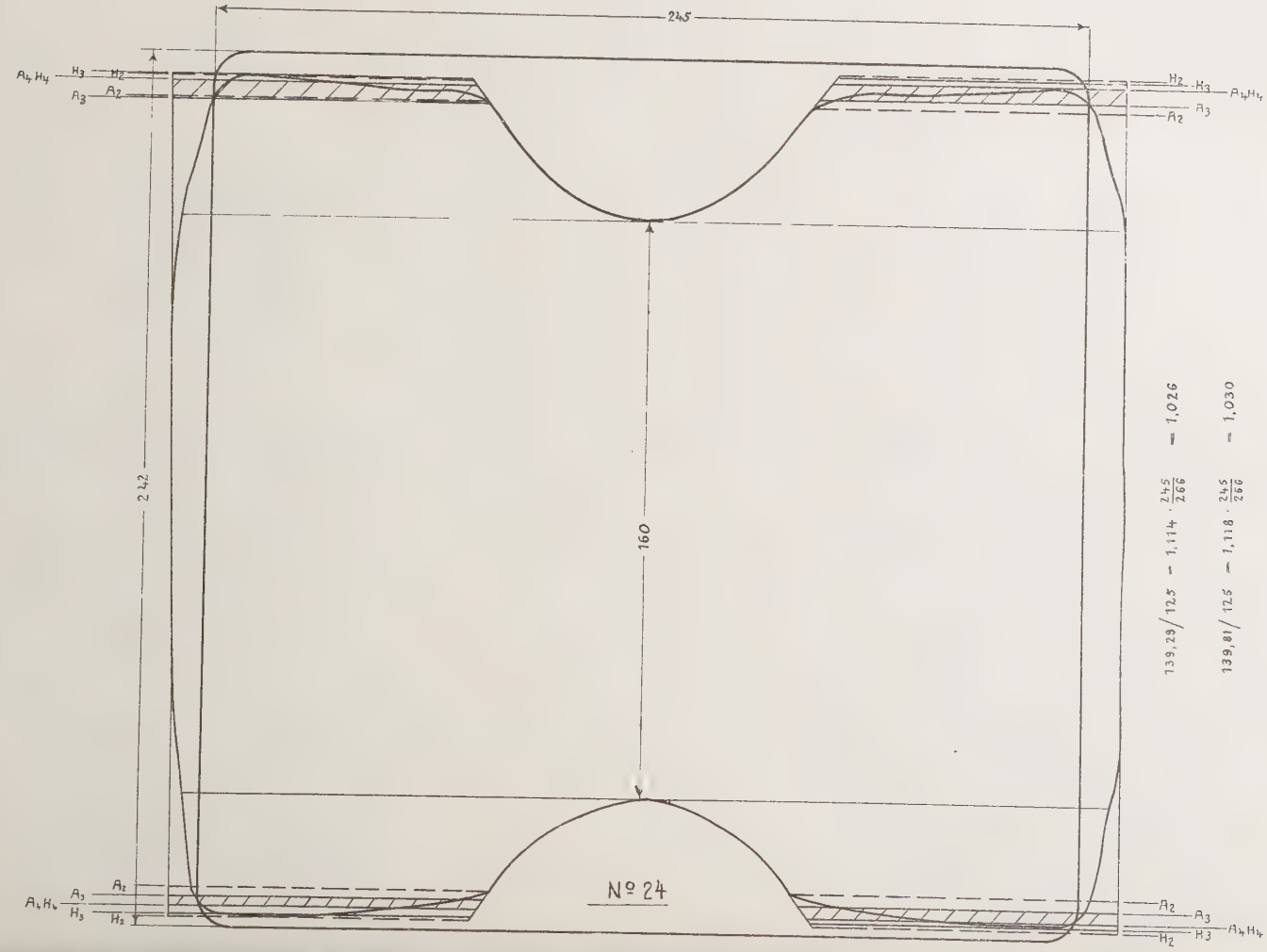
№ 22



№ 23

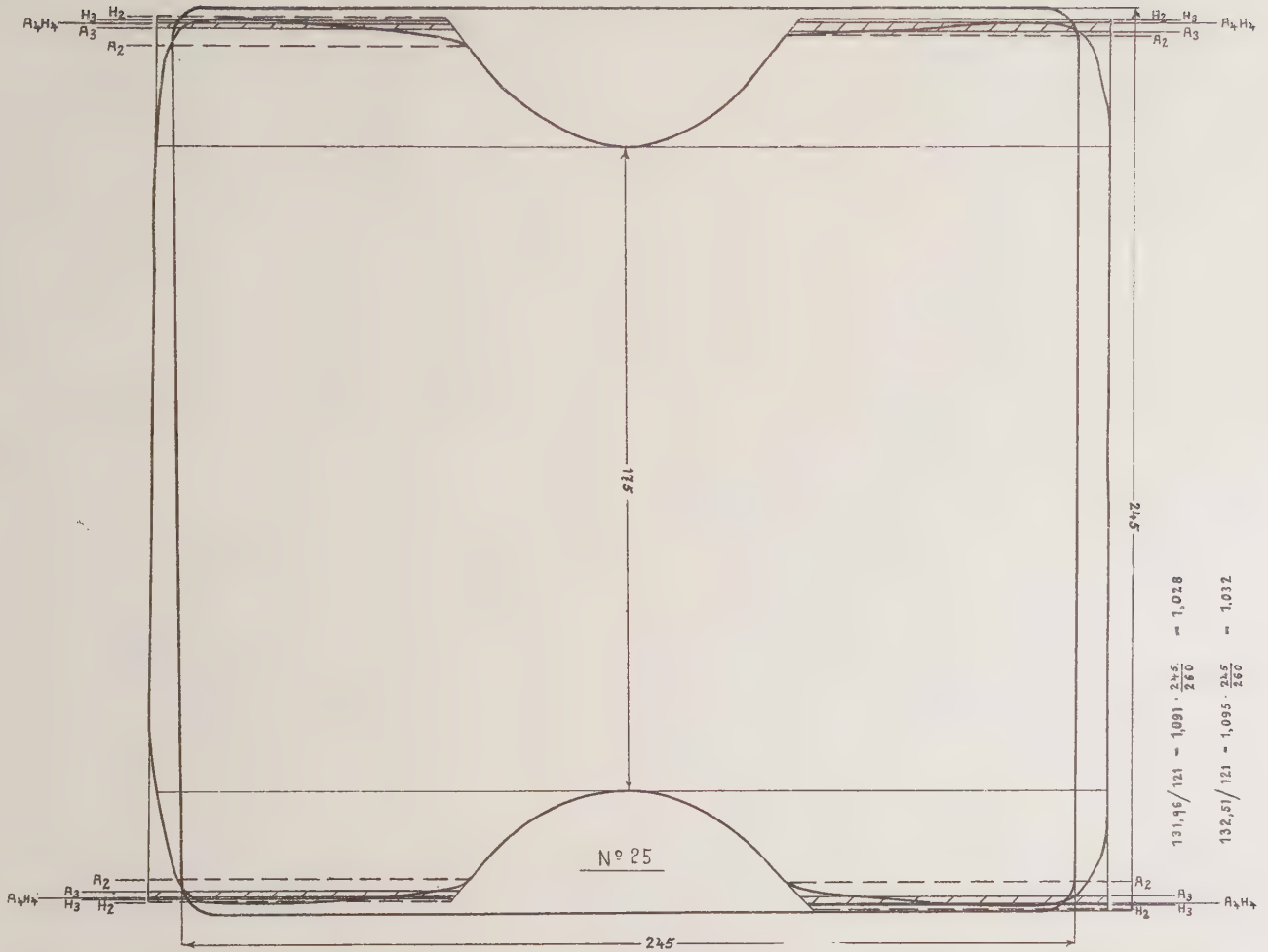
Tafel 12

$L_{plan.} = \frac{59204}{55650} = 1{,}064$	$L_{theor.3} = 1.030$
$L_{theor.2} = 1{,}026$	$L_{theor.4} = 1{,}039$



Tafel 13

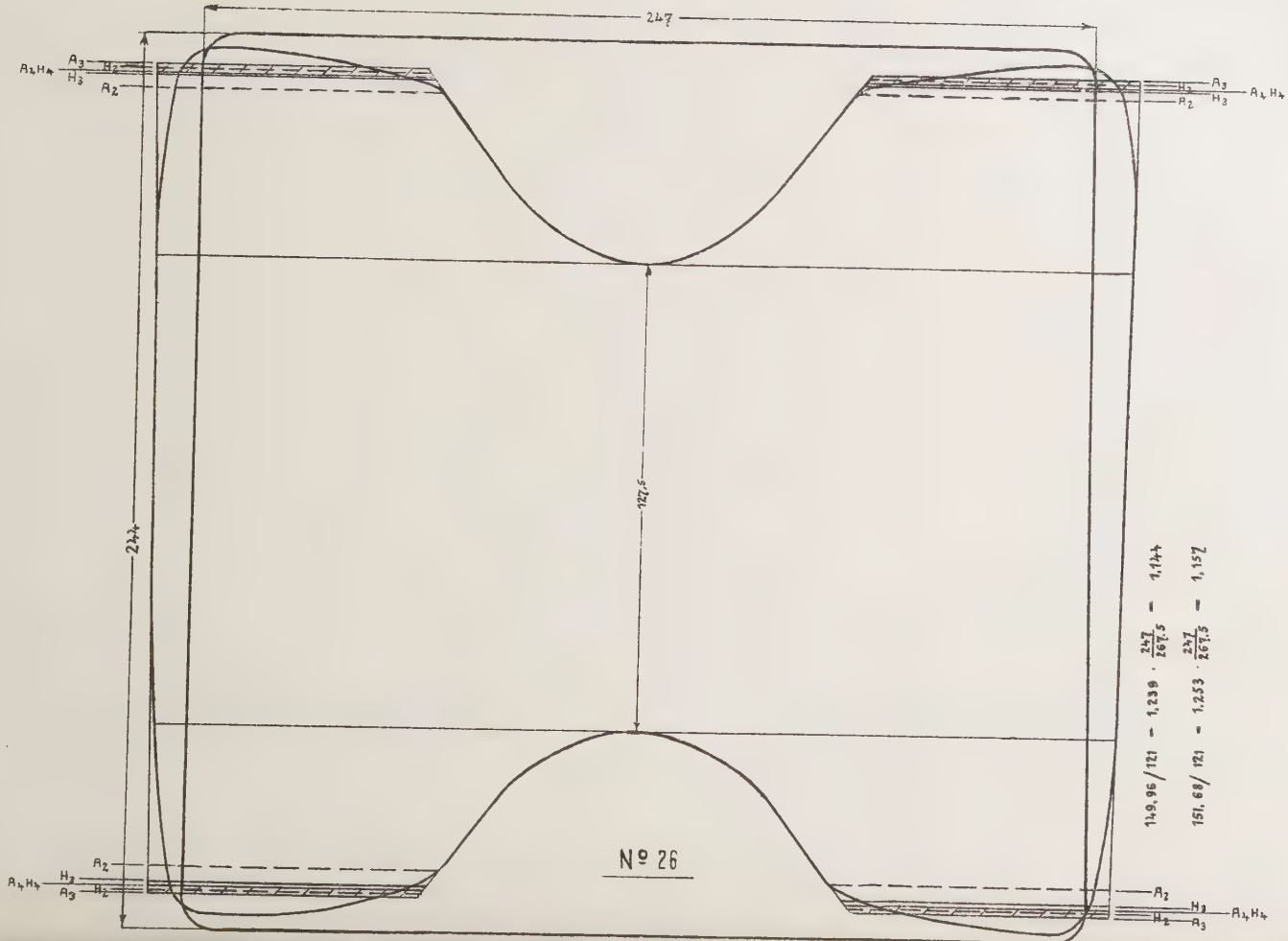
$L_{theor.2} = 1{,}028$ | $L_{theor.4} = 1{,}034$



Tafel 14

$L_{plan} = \frac{50182}{53000} = 1.135$ | $L_{theor.3} = 1,157$

$L_{theor.2} = 1,144$ | $L_{theor.} = 1,149$



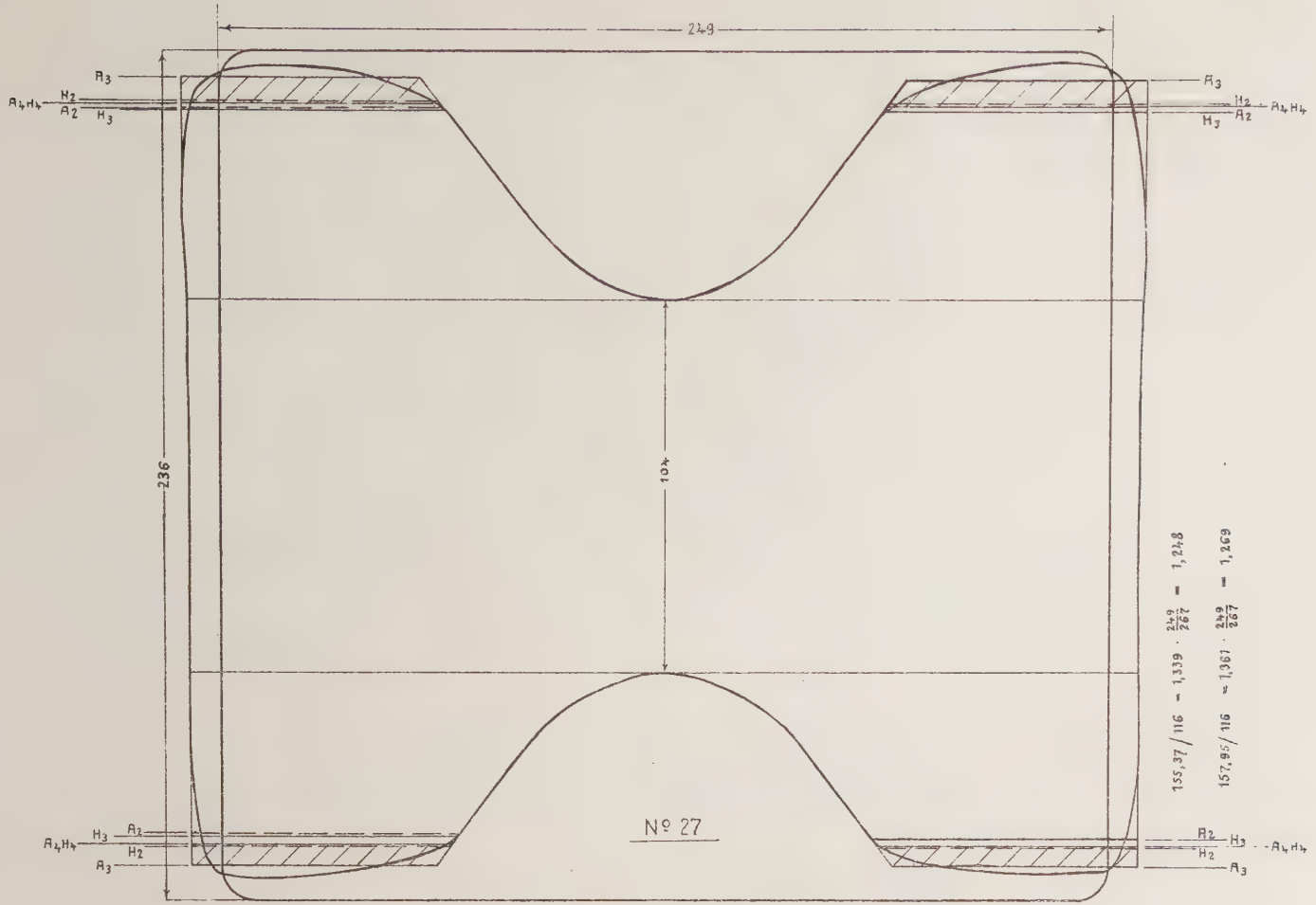
$149.96/121 = 1,239 \cdot \frac{247}{267.5} = 1,144$

$151.68/121 = 1,253 \cdot \frac{247}{267.5} = 1,157$

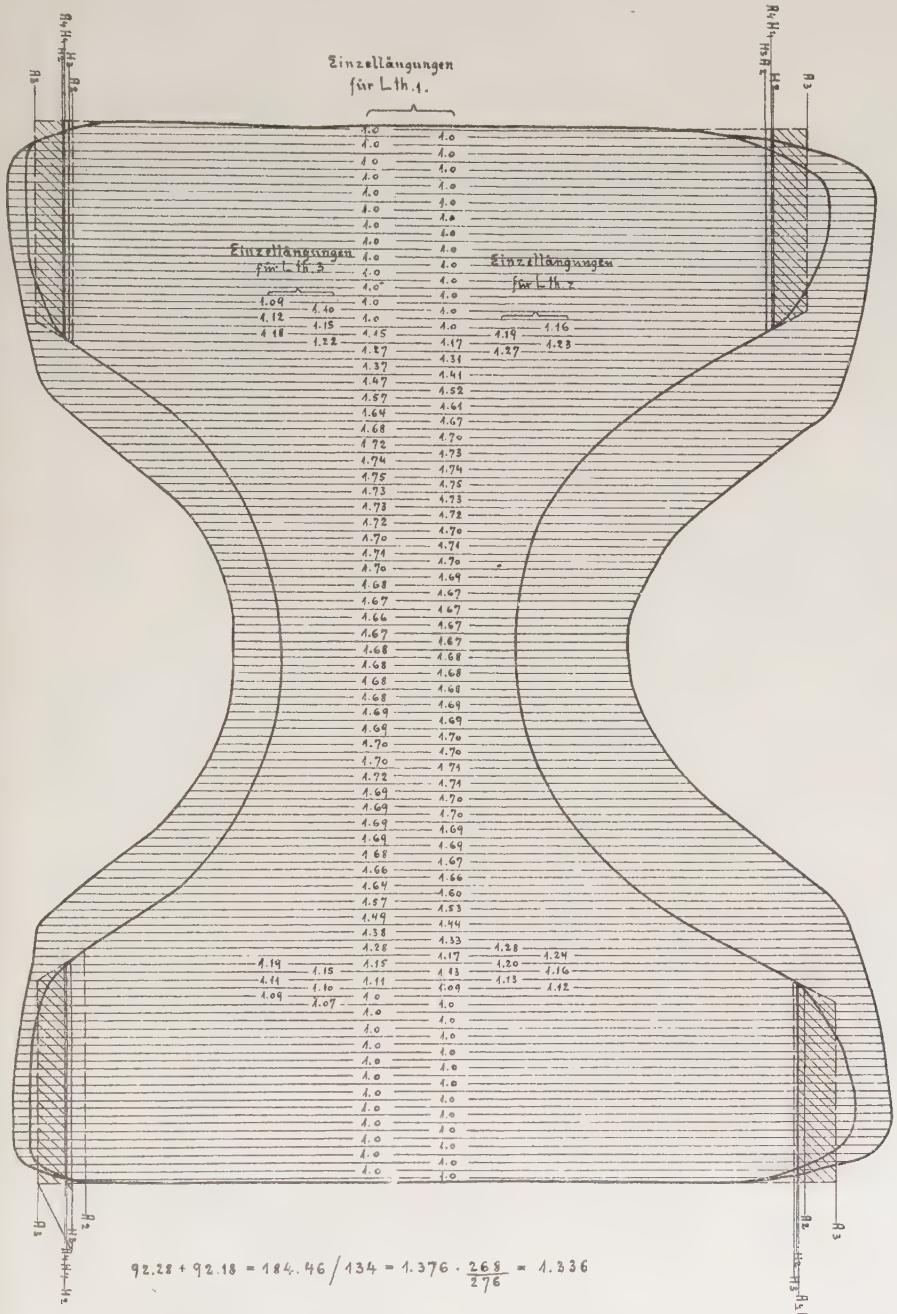
Tafel 15

$L_{plan} = \frac{58678}{48710} = 1,205$ | $L_{theor_3} = 1,269$

$L_{theor_2} = 1,248$ | $L_{theor_4} = 1,251$



Tafel 16



Einziehung für Lth.2.

15.18	16.00
13.00	14.10
10.30	11.92
7.60	9.23
4.90	6.25
2.98	3.80
1.89	2.17
0.81	1.35
0.27	0.54
0.00	0.00
0.54	0.54
0.54	0.81
0.81	1.35
1.35	1.08
1.08	1.35
1.35	1.63
1.89	2.17
2.17	2.17
2.44	2.17
2.17	2.17
1.89	0.80
0.80	0.80
0.80	0.80
0.80	0.60
0.60	0.60
0.60	0.40
0.40	0.40
0.40	0.20
0.00	0.20
0.60	0.40
0.60	0.40
0.60	0.60
0.60	0.60
0.80	1.00
1.20	1.20
1.60	2.40
3.00	3.80
4.60	5.60
6.80	7.80
8.80	9.60
10.40	11.20
11.80	12.00

128.96 + 142.47 = 271.43

$L_{plan} = 1.262$

$L_{theor.1} = 1.336$ | $L_{theor.3} = 1.33$

$L_{theor.2} = 1.319$ | $L_{theor.4} = 1.322$

$92.28 + 92.18 = 184.46 / 134 = 1.376 \cdot \frac{268}{276} = 1.336$

$92.38 + 92.53 = 184.91 - 2.71 = 182.20 / 134 = 1.359 \cdot \frac{268}{276} = 1.319$

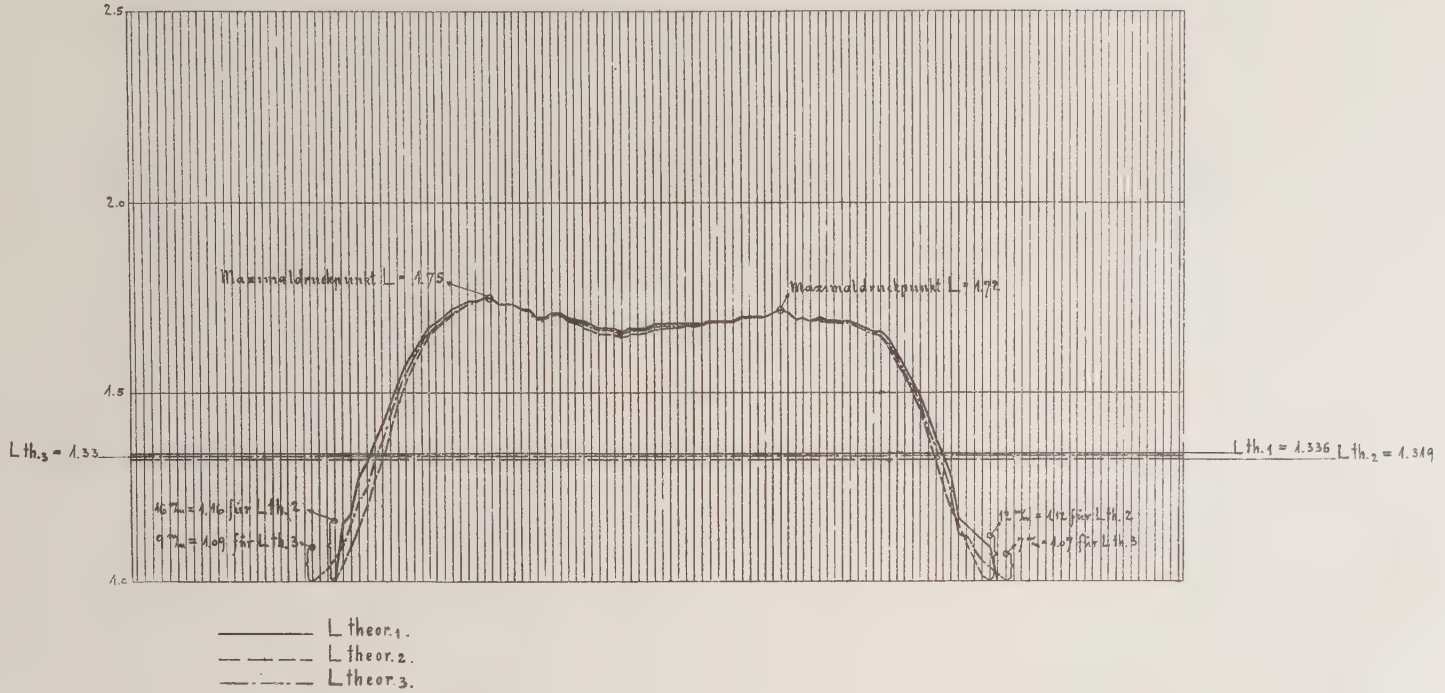
$92.74 + 92.74 = 185.48 - 1.82 = 183.66 / 134 = 1.37 \cdot \frac{268}{276} = 1.33$

Einziehung für L th. 3

90	0
8.88	0
7.76	0
6.54	0
5.18	0
3.82	0
2.46	0
1.50	0
0.95	0
0.41	0
0.13	0
0.00	0
0.27	0
0.57	0.2
0.84	0.4
0.68	0.6
0.55	0.6
0.68	0.6
0.95	0.8
1.09	1.0
1.22	1.0
1.09	1.0
0.95	1.0
0.43	0.4
0.43	0.4
0.32	0.3
0.32	0.3
0.22	0.2
0.22	0.2
0.0	0.1
0.32	0.3
0.32	0.3
0.32	0.3
0.43	0.3
0.65	0.5
0.86	0.6
1.61	1.2
2.48	2.0
3.66	3.0
4.74	4.1
5.72	5.1
6.56	6.4
6.78	6.4
7.4	7.4

91.63 + 90.39 = 182.0

N° 28

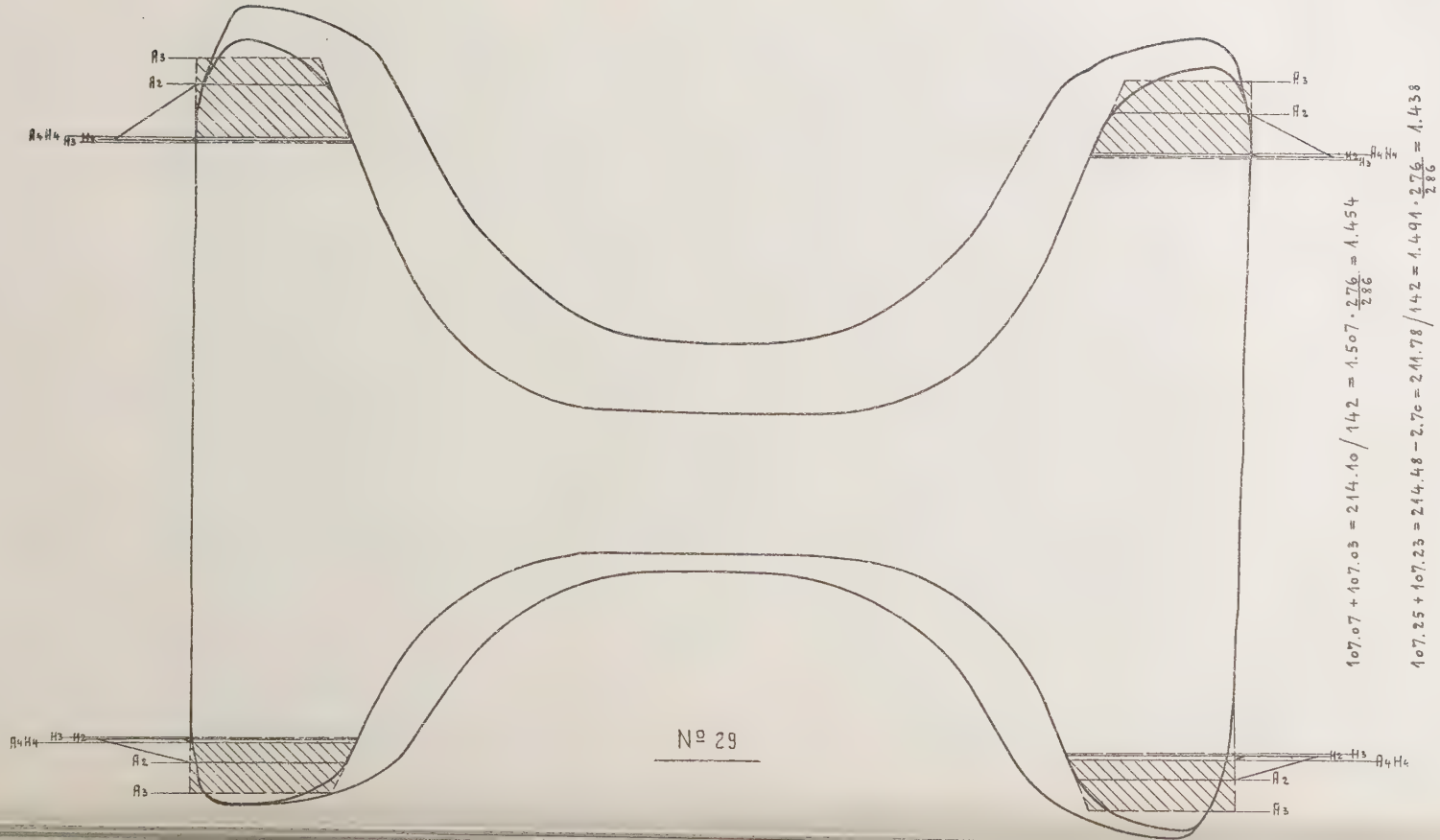


Tafel 17.

$L_{plan} = 1.299$

$L_{theor.1} = 1.454$ | $L_{theor.3} = 1.444$

$L_{theor.2} = 1.438$ | $L_{theor.4} = 1.432$

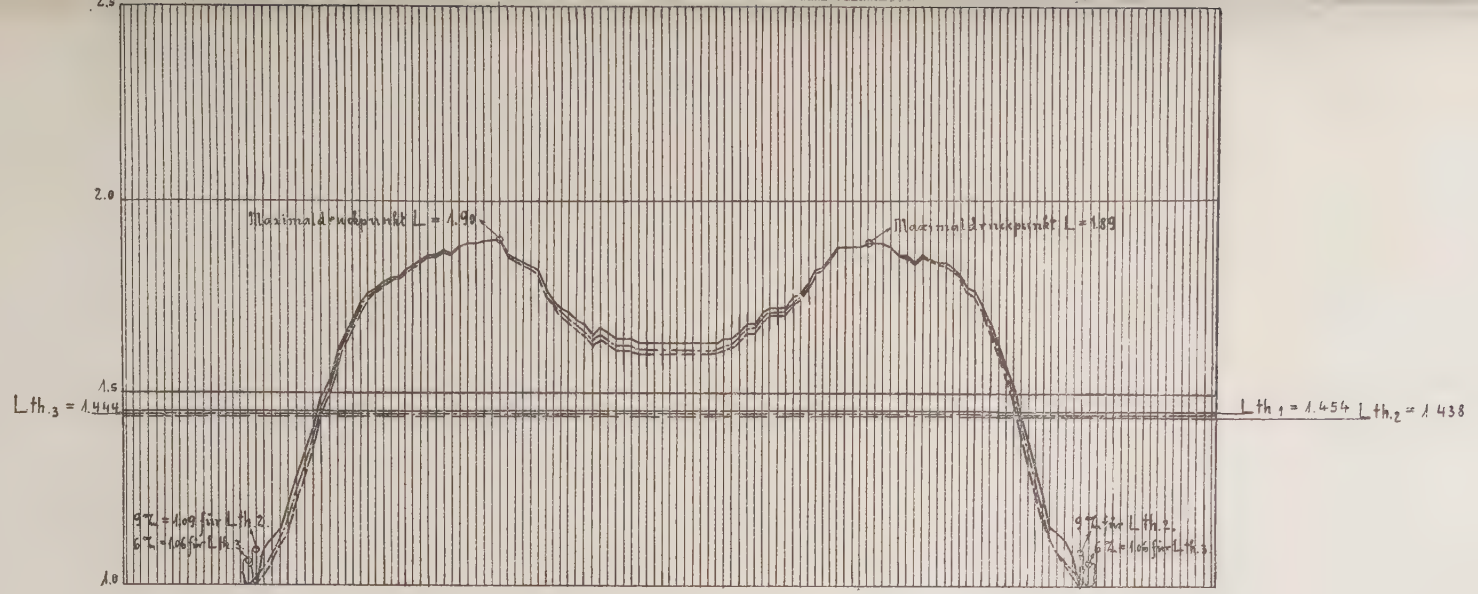


$107.07 + 107.03 = 214.10 / 142 = 1.507 \cdot \frac{276}{286} = 1.454$

$107.25 + 107.23 = 214.48 - 2.7c = 211.78 / 142 = 1.491 \cdot \frac{276}{286} = 1.438$

$107.24 + 107.21 = 214.45 - 1.87 = 212.58 / 142 = 1.496 \cdot \frac{276}{286} = 1.444$

Nº 29



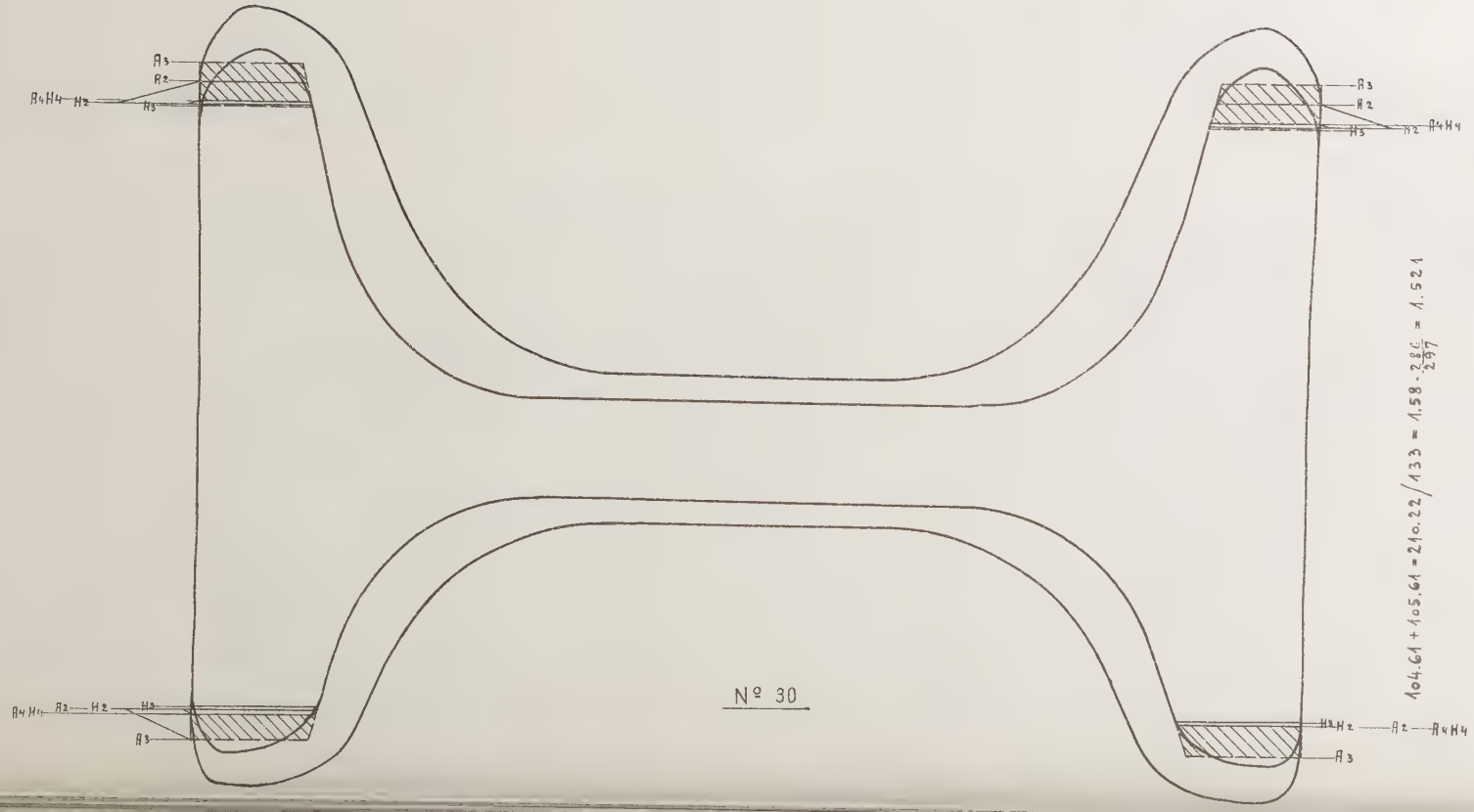
——— L theor.1.
— — — L theor.2.
—.—.— L theor.3.

Tafel 18

$L_{plan} = 1.399.5$

$L_{theor.1} = 1.521$ $L_{theor.3} = 1.485$

$L_{theor.2} = 1.478$ $L_{theor.4} = 1.473$

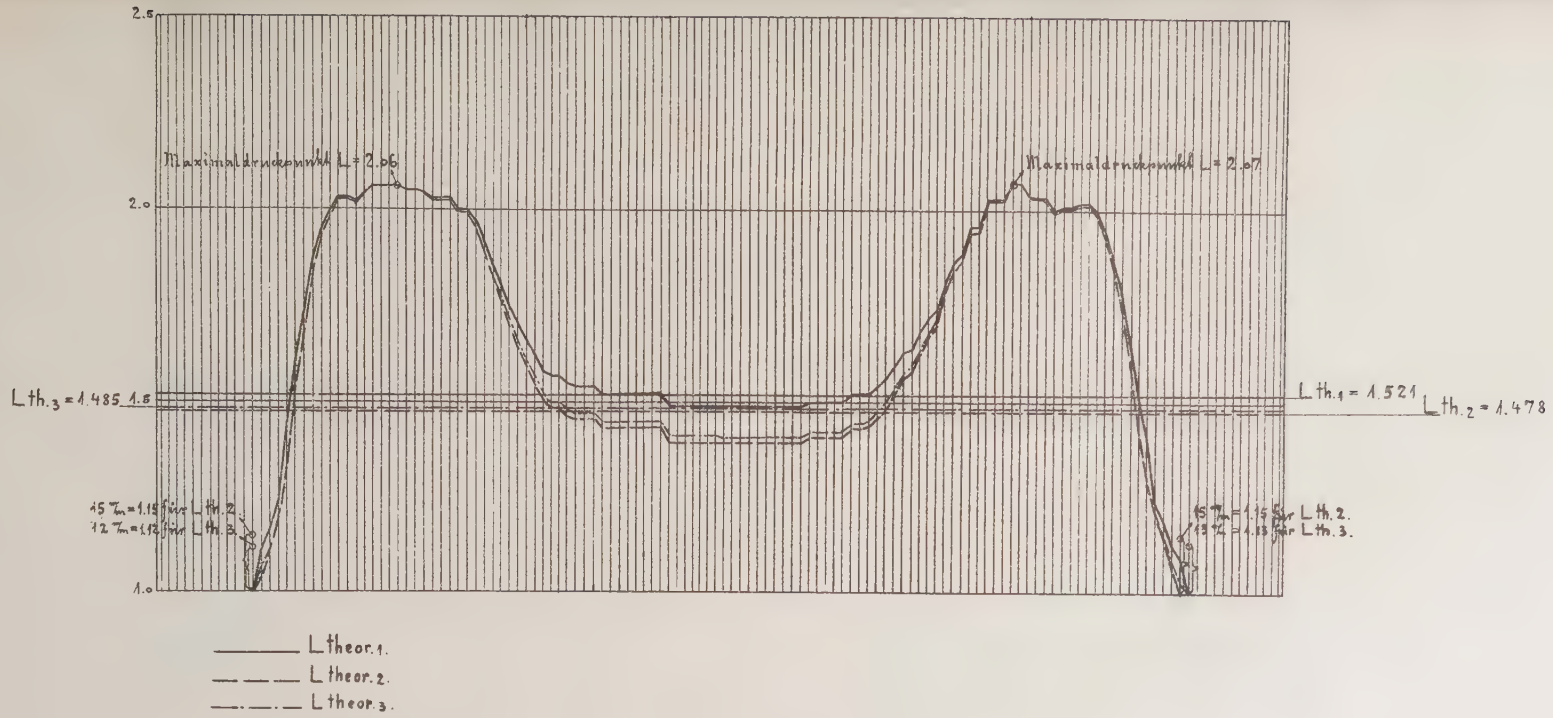


$104.61 + 105.61 = 210.22/133 = 1.58 \cdot \frac{286}{297} = 1.521$

$104.95 + 105.91 = 210.86 - 6.61 = 204.25/133 = 1.535 \cdot \frac{286}{297} = 1.478$

$104.85 + 105.93 = 210.78 \quad 5.34 = 205.24/133 = 1.543 \cdot \frac{286}{297} = 1.485$

Nº 30

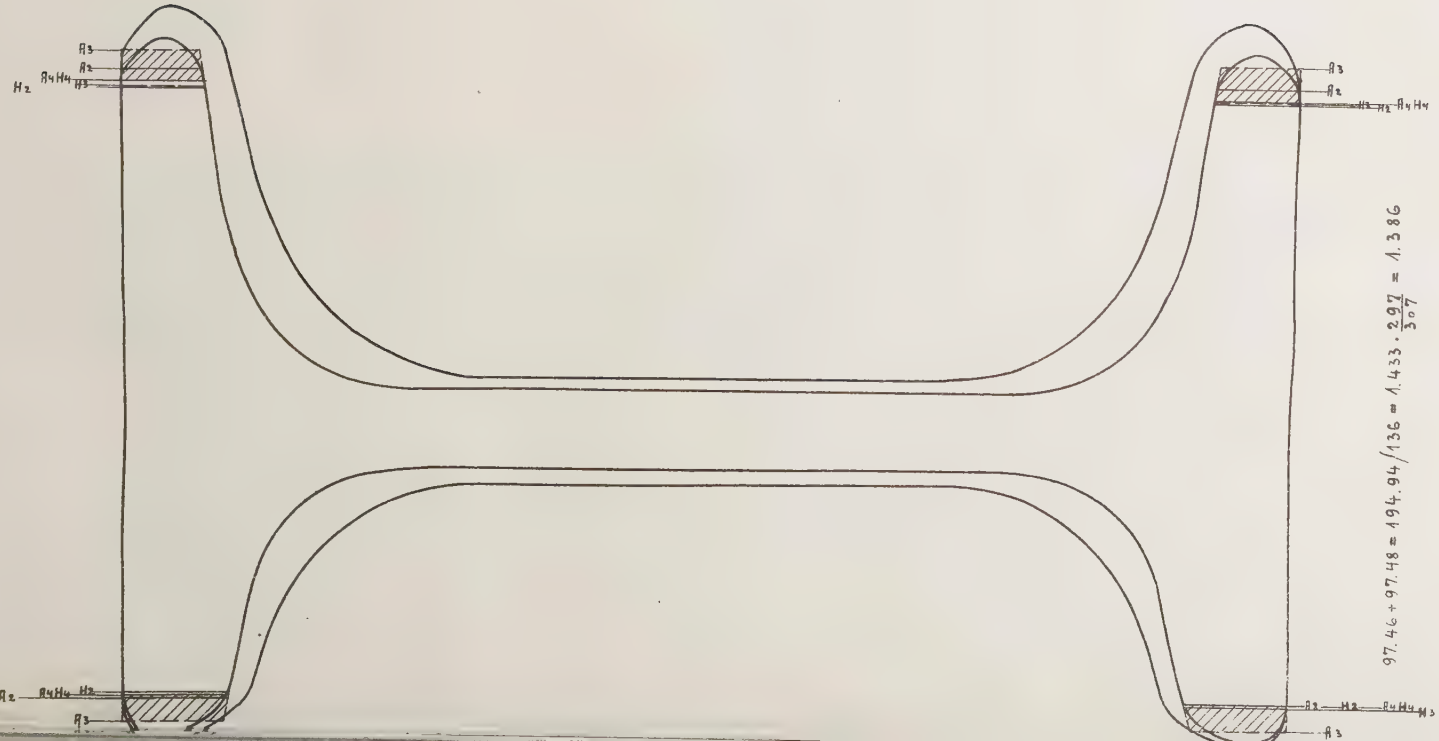

2.5
2.0
1.5
1.0
Maximaldruckennhl L = 2.06
Maximaldruckennhl L = 2.07
L th.3 = 1.485
L th.1 = 1.521
L th.2 = 1.478
15 % = 1.15 für L th.2.
12 % = 1.12 für L th.3.
15 % = 1.15 für L th.2.
13 % = 1.13 für L th.3.
L theor.1.
L theor.2.
L theor.3.

Tafel 19

$L_{plan} = 1.287$

$L_{theor.1} = 1.386$ $L_{theor.3} = 1.343$

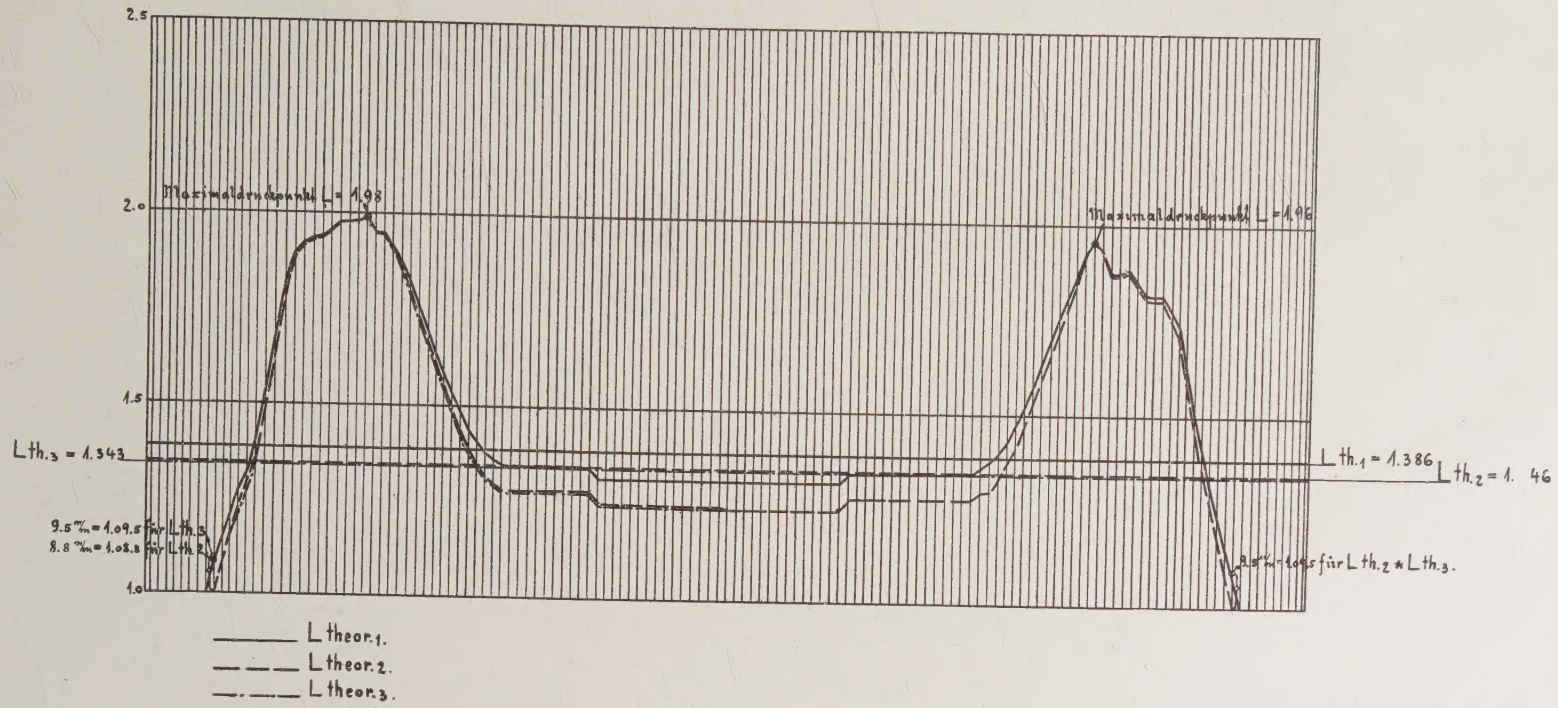
$L_{theor.2} = 1.346$ $L_{theor.4} = 1.346$



$97.46 + 97.48 = 194.94/136 = 1.433 \cdot \frac{297}{307} = 1.386$

$97.63 + 97.66 = 195.29 - 5.86 = 189.43/136 = 1.392 \cdot \frac{297}{307} = 1.346$

$97.56 + 97.60 = 195.16 - 6.11 = 189.05/136 = 1.389 \cdot \frac{297}{307} = 1.343$


2.5
2.0
1.5
1.0
Maximaldruckzahl L = 1.98
Maximaldruckzahl L = 1.96
L th.3 = 1.343
L th.1 = 1.386
L th.2 = 1. 46
9.5 ‰ = 1.09.5 für L th.3
8.8 ‰ = 1.08.8 für L th.2
9.5‰ = 1.09.5 für L th.2 * L th.3.
L theor.1.
L theor.2.
L theor.3.

Tafel 20